



Unsere Vision.

Materialien und Technologien für eine nachhaltige Zukunft.

SEITEN 4-5

Vorwort

SEITEN 6-7

Das Jahr im Rückblick

SEITEN 8-53

Im Blickpunkt

SEITEN 54-61

NEST – die Zukunft des Bauens

SEITEN 62-79

Research Focus Areas

SEITEN 80-99

Von der Forschung zur Innovation –
die Empa als Partnerin

SEITEN 100-103

Die Empa in Form & Struktur

SEITEN 104-106

Zahlen & Fakten

IMPRESSUM

Herausgeber: Empa, CH-8600 Dübendorf, 9014 St.Gallen, 3602 Thun. Redaktion: Kommunikation, Empa. Konzept/Gestaltung: Grafikgruppe, Empa.
Druck/Ausrüstung: Sonderegger Druck AG, CH-Weinfelden. ISSN 1424-2176 Jahresbericht Empa © Empa 2012



Energietechnologien im Focus

Ausgelöst durch die verheerenden Ereignisse im japanischen Fukushima, war 2011 geprägt von der Neuevaluation unserer Arbeiten und Ziele im Forschungsbereich Energie. Dabei konnte ich feststellen, dass wir bestens auf die Herausforderungen der kommenden Jahre vorbereitet sind. Denn Energiethemen sind vor allem auch Fragen nach geeigneten Materialien und Technologien; dabei wird es künftig in erster Linie darum gehen, nachhaltige, zyklische Prozesse bei der Energieumwandlung und -speicherung zu entwickeln. Nicht nur in unserer Research Focus Area «Energy Technologies» arbeiten wir bereits heute an zukunftsweisenden Lösungen für den Energiebereich. Insgesamt fließt rund die Hälfte unserer Bundesmittel in derartige Projekte, eine über die letzten Jahre sukzessive verstärkte Fokussierung, die sich nun auszahlt. Auf das Erreichte können wir stolz sein; ermöglicht wurde es durch die hervorragende Arbeit der verschiedenen Forschungsgruppen mit ihren hoch motivierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern. Dass die Empa sich auf dieses wichtige Thema konzentriert, ist noch aus anderer Sicht bedeutungsvoll: Energielösungen brauchen Zeit. Die Halbwertszeit für neue Energiesysteme beträgt mehr als eine Dekade, die Umsetzung in die Praxis oft noch länger. Ein enormer Gegensatz zu anderen Branchen wie der ICT, wo sich neue Tablet-Computer, iPads und Smart Phones in kurzen Zeiträumen jagen.

Unser Land wird grosse Anstrengungen unternehmen müssen, um die Energieversorgungsprobleme zu bewältigen. Da heute 75 Prozent des Energieverbrauchs in den Bereichen Wohnen und Mobilität anfallen, ist die Empa besonders gefordert, handelt es sich dabei doch um zwei ihrer Kernthemen. Ich bin überzeugt, dass unsere Forschung hierzu wichtige Beiträge liefern wird, sei es in der sinnvollen und effizienten Ressourcennutzung im Bau, durch neue Wärmespeicher auf Basis von Ettringit oder im Rahmen von Studien zur urbanen Entwicklung.

Lassen Sie sich durch die hier vorgestellten Beispiele inspirieren. Unsere Türen sind offen für gemeinsame Projekte mit akademischen und industriellen Partnern im Energiebereich, aber auch in unseren anderen Forschungsschwerpunkten. Die Energiestrategie des Bundes ist auf das Jahr 2050 ausgerichtet; die Ziele, die die Empa verfolgt, sollten jedoch schon deutlich früher neue Impulse liefern. Etwa durch Demonstratoren im energieeffizienten Bauen wie dem «NEST» (S. 54) und Konzeptstudien im Bereich Mobilität. Ich freue mich darauf, diese Herausforderungen in den kommenden Jahren gemeinsam mit Ihnen anzupacken.

Prof. Dr. Gian-Luca Bona
Direktor

01

Medtech-Forschung im Verbund

Die Empa arbeitet künftig vermehrt mit dem Kantonsspital St. Gallen, dem Unispital Zürich und der ETH Zürich zusammen, etwa in den Bereichen Nanosicherheit, Implantatentwicklung und Tissue Engineering.

Saubere Luft dank intakter Strassen

Intakte Beläge und saubere Strassen senken die Feinstaubbelastung deutlich, so eine Studie der Empa und des PSI. Denn Motor-emissionen verursachen nur rund die Hälfte des verkehrsbedingten Feinstaubes.

02



Baufachkonferenz in den VAE

Rund 300 Teilnehmende aus 30 Ländern informierten sich in Dubai, dem «Eldorado» für innovative Architektur, über neueste Trends in der «smarten» Überwachung und Sanierung von Gebäuden.

Nanopartikel in 3D – atomar aufgelöst

Forschenden der Empa und der ETH Zürich ist es erstmals gelungen, die 3D-Struktur eines Nanopartikels zu bestimmen, Atom für Atom.

Seite 15

03



Es «windet» an der Empa

Im neuen Windkanal an der Empa lassen sich Wind- und Wärmesituationen in Städten simulieren und Möglichkeiten erproben, das Stadtklima auf natürlichem Weg zu verbessern.

1. «Swiss Cleantech Report»

Umweltfreundliche Technologien spielen für den Wirtschafts- und Forschungsstandort Schweiz eine zunehmend wichtige Rolle, belegt eine von der Empa mit erstellte Bestandsaufnahme.

04

Chemie im Elektronenstrahl

Mit einem fokussierten Elektronenstrahl haben Empa-Forschende nanometerfeine Oberflächenstrukturen erzeugt. Damit lassen sich etwa Laser für die optische Datenübertragung verbessern.

Neues Empa-Laserzentrum in Thun

Die weltweit einzigartige UV-Laseranlage erlaubt es, grosse Flächen nanometergenau zu bearbeiten, etwa für optische Sicherheitsmerkmale oder 3D-Bildschirme, die ohne Brillen funktionieren.

Seite 22

05

Wie ökologisch sind Kaffeekapseln?

Das kommt in erster Linie auf den Kaffee an, weniger auf die verschiedenen Systeme, ergab eine Ökobilanz der Empa. Denn entscheidend ist die Umweltbelastung durch den Anbau.



Zum Ersten: Swiss NanoConvention

2011 organisierte die Empa mit dem PSI und der ETH Zürich die 1. Swiss NanoConvention, eine Diskussionsplattform rund um die Nanotechnologie.

Seite 96



Beteiligung am IBM-ETH-Nanozentrum

Das IBM-Forschungslabor in Rüschlikon hat ein modernstes Nanoforschungszentrum in Betrieb genommen. Dort wird auch die Empa forschen.

06

Web-Tool für Biotreibstoffe

Viele Biotreibstoffe belasten die Umwelt mehr als dass sie nützen. Um ihre Nachhaltigkeit zu bewerten, entwickelten Empa-Forschende den «Sustainability Quick Check for Biofuels».

Ausgezeichnetes Masterprogramm

Das österreichische Wirtschaftsmagazin «Format» kürte das von der Empa mitbegründete internationale Masterprogramm «MNT Micro- and Nanotechnology» zum besten technischen FH-Studiengang.

Weltrekorde für Solarzellen

In 2011 stellten Empa-Forschende gleich zwei Weltrekorde auf für die Effizienz der Energieumwandlung von flexiblen Dünnschichtsolarzellen.

Seite 31

07

Am CS Innovation Luncheon

Zusammen mit der Fraunhofer Gesellschaft konnte die Empa am «Innovation Luncheon» ihre Innovationen interessierten Kunden und Mitarbeitenden der Credit Suisse vorstellen.



Nachwuchsförderung im Sommercamp

Im Empa-Sommercamp entwarfen und bauten 21 JungforscherInnen unter anderem eine tragfähige Hängebrücke über den Chriesbach.

08

Finanzierungserfolg für Empa-Spin-off

Das im Empa-Business-Inkubator «glaTec» beheimatete Start-up «Compliant Concept» gewann einen der hochdotierten Innovationsvoucher der KTI.

Den Forschergeist früh wecken

Im ersten Kinderlabor an der Empa experimentierten 20 PrimarschülerInnen rund um die Phänomene Elektrizität, Strom und Licht nach Herzenslust.

09

«WRF» setzt Impulse

Am 2. World Resources Forum, das die Empa erneut in Davos organisierte, drehte sich alles um den globalen Ressourcenverbrauch, der nach wie vor massiv zunimmt.

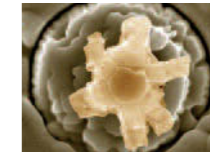
Doch alles Gold, was glänzt

Eine hauchdünne Goldauflage verleiht Krawatten und Einstecktüchern wahren Glanz. Das im Empa-Plasmaverfahren beschichtete Garn ist weich, webbar und waschmaschinenfest.

Die besten Start-ups der Schweiz

Erfolg für den Empa-Business-Inkubator «glaTec»: Von den sechs ansässigen Jungunternehmen schafften es drei in die TOP 100 – und mit der Firma «Optotune» gar an deren Spitze.

Seite 89



Die Schönheit des Nano-Kosmos

Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen durch Empa-Forschende wurden letztes Jahr mehrfach für ihren ästhetischen Wert ausgezeichnet, etwa bei «NanoArt 2011».



11

«Vademecum» für Nanotextilien

Mit dem Leitfaden «Nano Textiles» will die Empa Unternehmen der Textil- und Bekleidungsindustrie den sicheren Umgang mit der Nanotechnik erleichtern.

Das kleinste E-Mobil der Welt

Das emissionsfreie, geräuschlose Allradfahrzeug besteht aus nur einem Molekül und fährt auf vier elektrisch angetriebenen Rädern.

Seite 12

12

EU-Kofinanzierung für Jungforschende

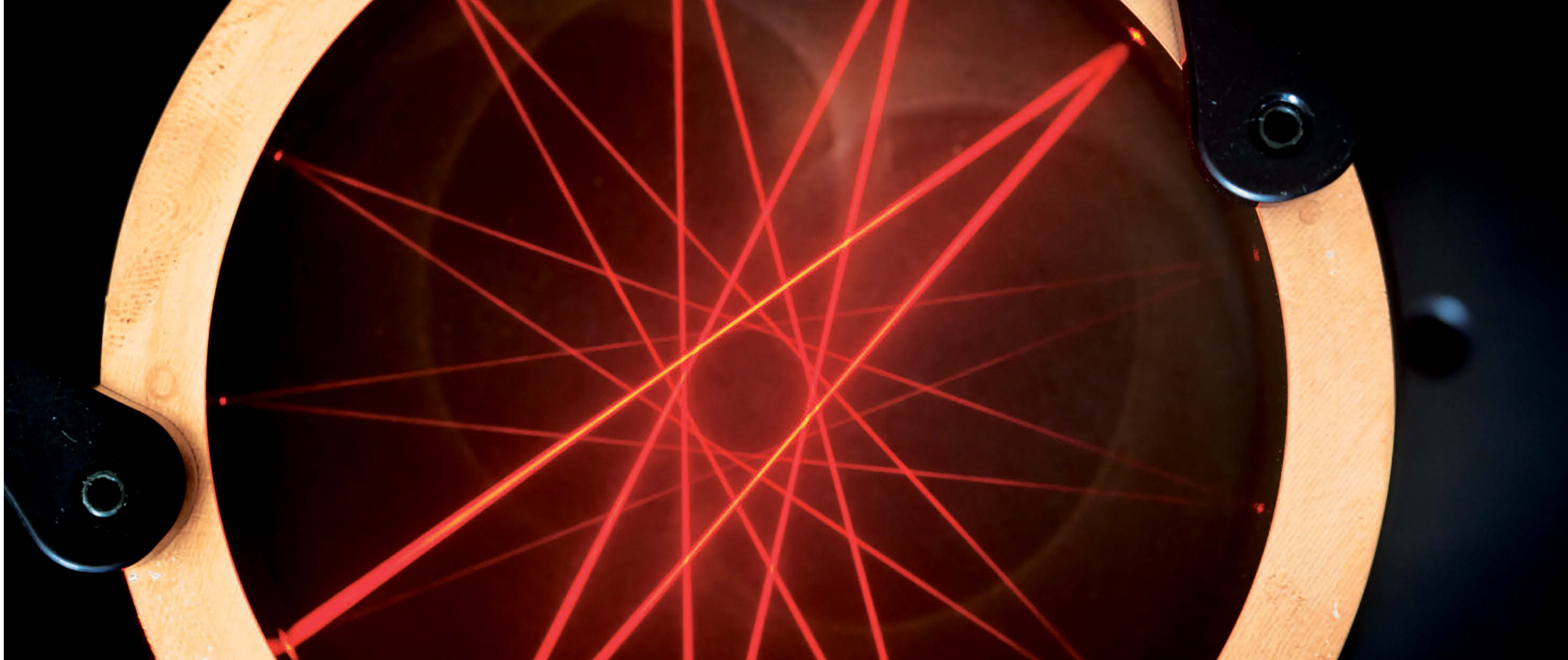
22 WissenschaftlerInnen erhalten ein zweijähriges EU «COFUND»-Stipendium. Anfang 2013 kann die Empa nochmals 22 Stipendien an talentierte Postdoktorierende vergeben.

Durch die «gläserne Decke»

Der ETH-Rat hat mit der Chemikerin und Expertin für Luftschadstoffemissionen Brigitte Buchmann erstmals eine Frau zum Direktionsmitglied der Empa ernannt.

Im Blickpunkt

Neue Materialien erforschen und innovative Technologien vorantreiben; Impulse setzen für eine nachhaltige Entwicklung unserer Gesellschaft; die wissenschaftlichen Grundlagen schaffen für politische und gesellschaftliche Entscheide – das sind zentrale Ziele der Empa, die sie durch Forschung und Entwicklung, über Kooperationen und Partnerschaften, via Dienstleistungen, Expertisen und Consulting verfolgt. In gut 500 Fachpublikationen und knapp 1100 Beiträgen an wissenschaftlichen Konferenzen brachten die Empa-Wissenschaftlerinnen und -Ingenieure ihre neuesten Erkenntnisse an den Mann (und die Frau). Die folgenden «Snapshots» aus den Labors geben einen Einblick in die vielfältigen Forschungsaktivitäten der Empa.



Anwendungsorientierte Forschung
Innovative Entwicklungen
Wissens- & Technologietransfer
Dienstleistungen & Expertisen
Aus- & Weiterbildung

Ein Nano-Auto mit molekularem Allradantrieb

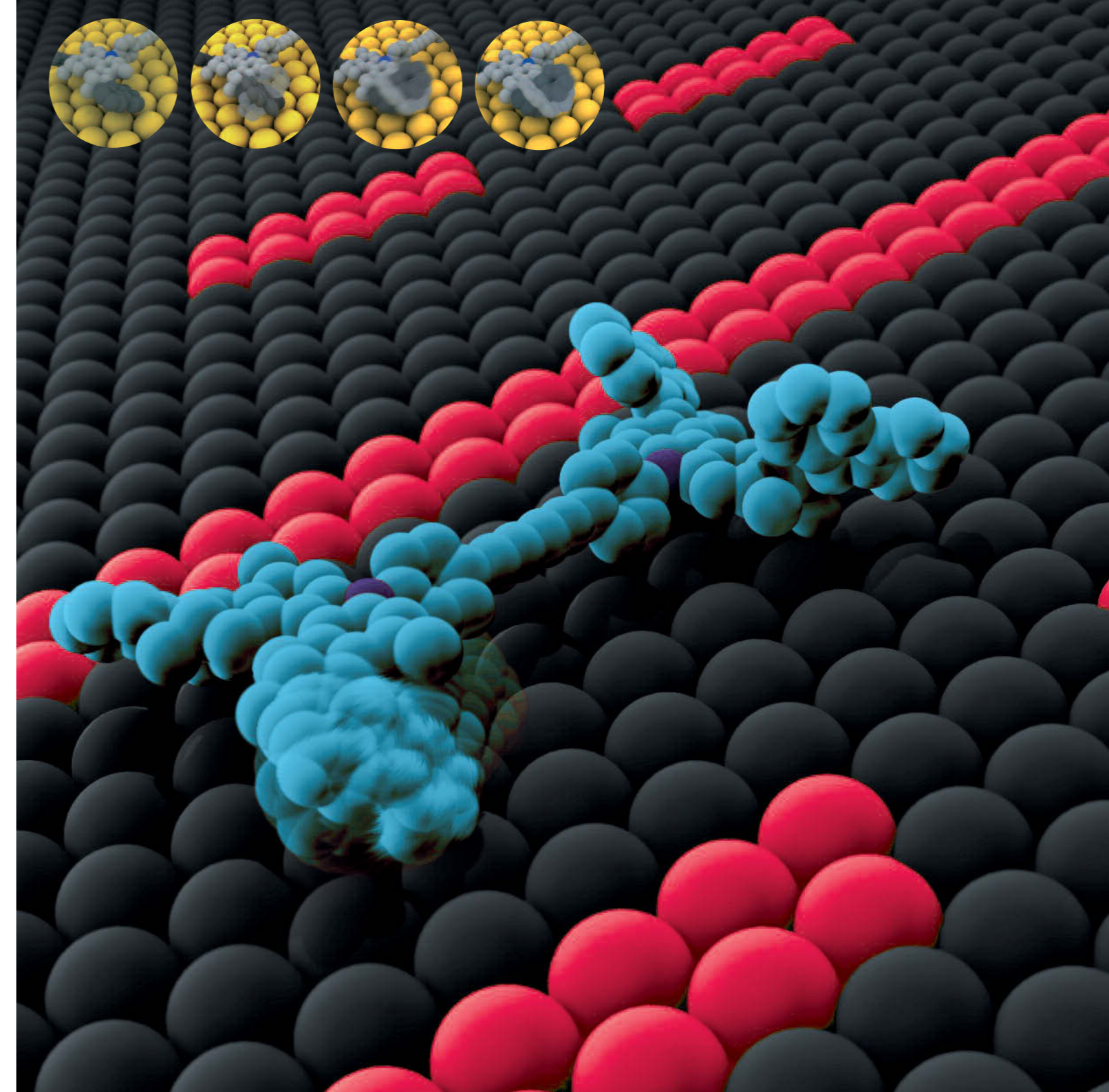
Kleiner gehts nicht mehr: Das emissionsfreie, geräuschlose Allradfahrzeug, das Empa-Forscher mit niederländischen Kollegen entwickelt haben. Es besteht aus nur einem Molekül und fährt auf vier elektrisch angetriebenen «Rädern» nahezu geradlinig über eine Kupferoberfläche. Das

4 x 2

Nanometer klein ist das Nano-Auto. Also rund eine Milliarde Mal kleiner als ein VW Golf. Das synthetische Molekül besitzt eine C-C-Einfachbindung – das Chassis des Autos – und vier Motoreinheiten – die Räder des Autos –, die elektrisch angetrieben werden.

Molekül und lösen strukturelle Veränderungen in den vier Motoreinheiten aus: Jedes Rad macht eine halbe Umdrehung. Drehen sich alle vier simultan, fährt das Auto (theoretisch) in einer geraden Linie vorwärts. Die Schwierigkeit ist, die vier Räder gleichzeitig anzuregen. Nach zehn STM-Anregungen hat das Auto sechs Nanometer zurückgelegt. Jedoch: Nach einer halben Umdrehung der Räder muss das Auto aufgetankt werden. Ein weiteres Experiment beweist, dass das Molekül tatsächlich so funktioniert wie vorausgesagt. Die Mittelachse besteht

Über die Spitze eines Rastertunnelmikroskops (STM von engl. Scanning Tunneling Microscope) wird das Nano-Auto elektrisch aufgeladen. Eine Ladung reicht für eine halbe Umdrehung der Räder; nach zehn «Betankungen» ist das Auto sechs Nanometer weit gefahren.



aus einer C-C-Einfachbindung, um die Vorder- und Hinterteil des Autos frei rotieren. Das Molekül kann also auch «falsch herum» landen. Dann drehen sich die Hinterräder nach vorne, die vorderen nach hinten – das Auto bleibt stehen. Landet es richtig orientiert, drehen alle Räder in dieselbe Richtung, das Auto bewegt sich. Ziel ist, molekulare Transportmaschinen zu entwickeln, die auf der Nanoskala bestimmte Arbeiten verrichten. Ein entscheidender Schritt ist den Forschern der Universität Groningen und der Empa gelungen. Sie haben bewiesen, dass einzelne Moleküle externe elektrische Energie aufnehmen und in eine gezielte Bewegung umwandeln.



Die Forschungsergebnisse wurden im Wissenschaftsmagazin «Nature» veröffentlicht; das Nano-Auto schaffte es sogar auf die Titelseite.

Atome zählen – in 3D

Dank einer neuentwickelten Methode ist es Forschenden der Empa und der ETH Zürich erstmals gelungen, die räumliche Anordnung und die Anzahl einzelner Atome in einem Nanopartikel zu bestimmen. Dies berichteten sie gemeinsam mit niederländischen Kollegen

50

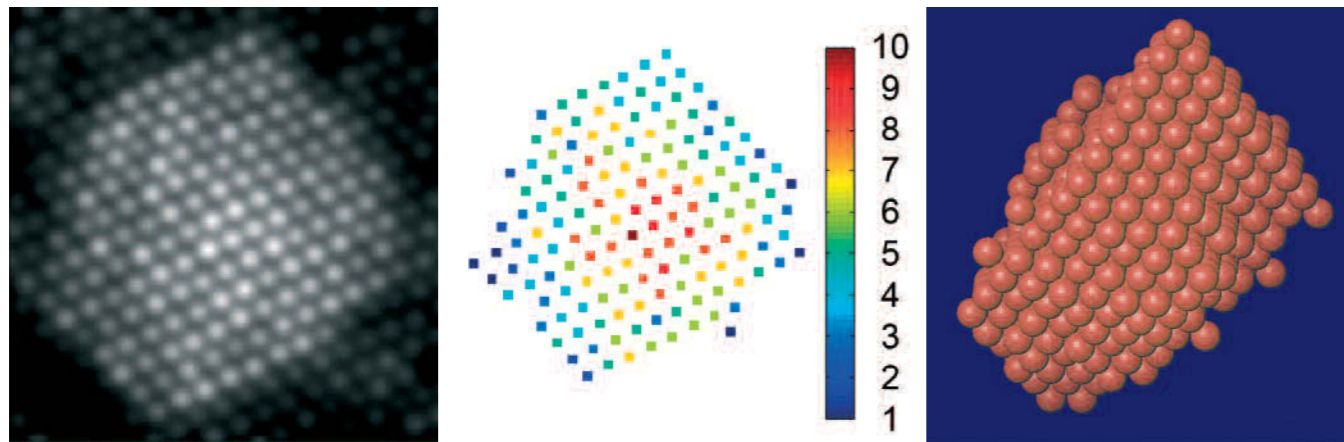
Pikometer Auflösung erreicht das Elektronenmikroskop, mit dem Silbernanopartikel abgebildet wurden. Dies ist etwa ein halber Atomdurchmesser. So liessen sich die einzelnen Silberatome im Kristallgitter abzählen.

im Februar im renommierten Wissenschaftsmagazin «Nature». Nanoteilchen verfügen über andere chemische und physikalische Eigenschaften als ihre mikro- und makroskopischen «Geschwister». Da sie nur aus wenigen Atomen bestehen, haben sie im Verhältnis zu ihrem Volumen eine extrem grosse Oberfläche. Dadurch kann es zu Quanteneffekten kommen, die zu veränderten Materialeigenschaften führen. Zum Beispiel wird Keramik aus Nanomaterial biegsam und Nanoteilchen aus Gold glänzen rötlich.

Neben der Oberflächenbeschaffenheit bestimmen die dreidimensionale Struktur sowie die atomare Anordnung innerhalb der Nanopartikel deren Eigenschaften. Das Forschungsteam von Empa und ETH Zürich konnte nun erstmals die exakte dreidimensionale Struktur einzelner Silbernanopartikel in atomarer Auflösung abbilden. Sie nutzten hierfür ein extrem leistungsfähiges Elektronenmikroskop, das eine Auflösung von einem halben Atomdurchmesser erreicht. Ausgedrückt in Zahlen: weniger als 50 Pikometer. An der Universität Antwerpen erstellten ihre Kollegen aus den Aufnahmen dann Modelle, um diese zu «schärfen». Dadurch konnte das Schweizer Team die einzelnen

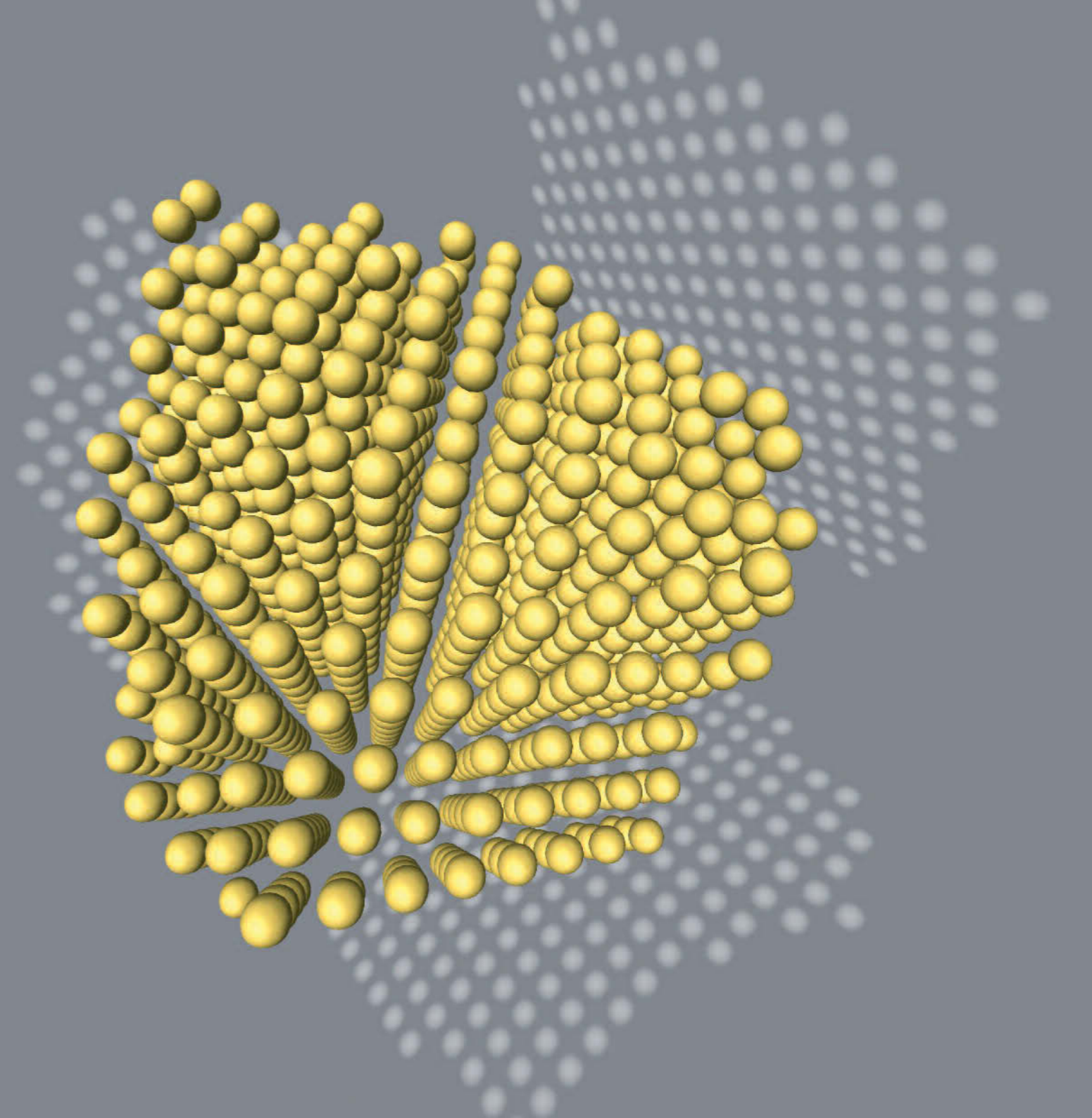
Silberatome im Kristallgitter abzählen. Um schliesslich die dreidimensionale Struktur zu bestimmen, tomografierte der niederländische Spezialist die Nanopartikel und rekonstruierte mit speziellen mathematischen Algorithmen die Anordnung der Atome. Zwei Aufnahmen genügten, um ein Nanoteilchen aus 784 Atomen nachzubilden.

Auf diese Weise wollen Empa und ETH nun dotierte Nanopartikel charakterisieren, etwa um festzustellen, welche Atomkonfigurationen an der Partikeloberfläche aktiv werden, wenn diese beispielsweise toxisch oder katalytisch wirken. Generell dürfte das neue Verfahren in Zukunft dazu beitragen, die Eigenschaften von Nanoteilchen besser zu verstehen.



Links: Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Silbernanopartikels. Jeder Fleck ist die Projektion einer Atomsäule. Mitte: Eine neuartige quantitative Analyse des Bildkontrastes erlaubt es, die Anzahl der Silberatome zu bestimmen: Die Farbkodierung zählt die Atome in jeder Säule, die durch das Silberpartikel verlaufen. Rechts: Ansicht des rekonstruierten Silbernanopartikels.

Erstmals ist es Forschenden gelungen, die Anordnung der einzelnen Atome und deren Anzahl in einem Nanopartikel zu bestimmen. Das Silberpartikel hat einen Durchmesser von rund zwei Nanometer.



Nanopartikel in der Luft – weitgehend unerforscht

Wie sich Nanopartikel – industriell hergestellte oder solche, die in Verbrennungsprozessen oder durch Abrieb entstehen – in der Luft verhalten, ist nahezu unbekannt. Daher schützen sich Arbeitskräfte beim Reinigen einer Produktionsanlage für Nanopulver vorsorglich mit einer

Art Raumanzug. Um kleine und kleinste Partikel zu analysieren, hat die Empa spezielle Laboratorien eingerichtet. Unter anderem einen Windkanal: Dieser ist ein hervorragendes Instrument, Nanopartikel «in Schwebelage» und unter definierten Bedingungen zu untersuchen. Dank Ventilator, Heizung und Befeuchter lassen sich Windgeschwindigkeit, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und vieles mehr exakt einstellen. Bei Feldstudien sind diese Parameter dagegen nicht bekannt.

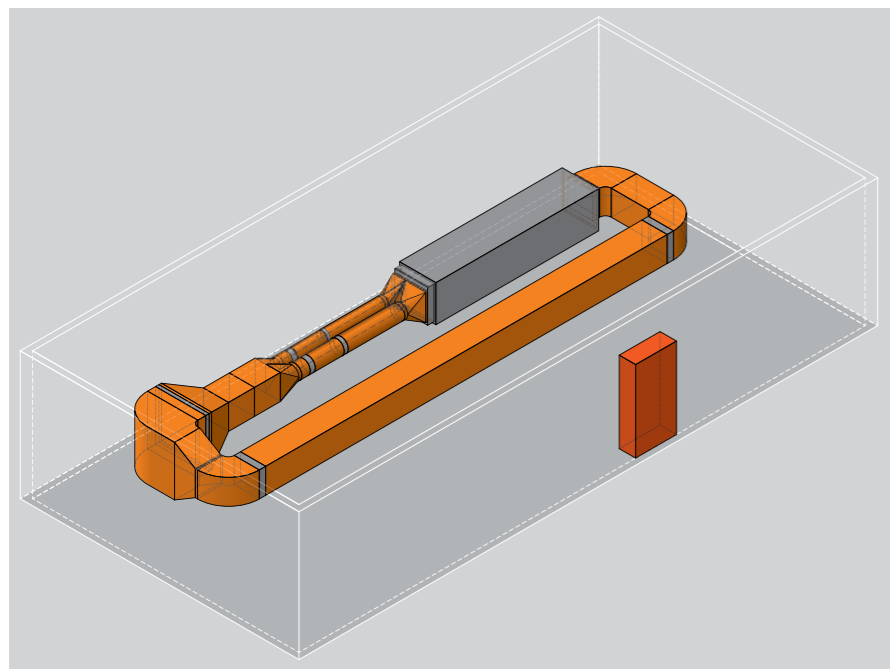
Werden die an der Empa produzierten (und daher in ihrer Grösse und Beschaffenheit genau bekannten) Nanopartikel dann im Windkanal «freigelassen», sind diese äusserst beweglich; sie schweben deutlich länger in der Luft als Teilchen im Mikrometerbereich, die wegen ihres höheren Gewichtes rascher zu Boden sinken. Untersucht wird, wie lange die Partikel unter den eingestellten Bedingungen im Luftstrom des Kanals verbleiben, wie sie sich fortbewegen, ob sie agglomerieren und dadurch ihre Grösse verändern und ob sie chemisch miteinander – oder mit anderen Luftbestandteilen – reagieren. Dazu werden im Windkanal an verschiedenen Orten Proben genommen und analysiert. Dies

3 x 13

Meter breit und lang ist der Windkanal zur Untersuchung von Nanopartikeln. Er besteht aus normierten Lüftungselementen und dient unter anderem dazu, effizientere Luftfilter zu entwickeln.

Agglomerierte Nanopartikel aus Siliziumcarbid (SiC) werden von einem Filter zurückgehalten, während die Luft durch die zylindrischen Löcher im Filter zirkulieren kann. (Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme)

1 µm



geschieht unter anderem mit dem «Universal Nanoparticle Analyzer», einer bereits zum Patent angemeldeten Neuentwicklung. Damit können Grösse, Morphologie, Oberfläche und Volumen der Nanopartikel – oder auch der Agglomerate davon – exakt bestimmt werden; das Resultat liegt innert Minuten vor. Bisher waren dazu langwierige Untersuchungen mit dem Mikroskop nötig.

Der Windkanal eignet sich zudem, um Luftfilter zu entwickeln und zu testen; dazu wird die Teilchenkonzentration vor und nach dem Filter gemessen. Denn: Noch immer ist es für die Hersteller von Filtern etwa für Gesichtsmasken und Innenluftfilter für Flugzeuge und Autos alles andere als trivial, Teilchen im Nanometermassstab aus der Umgebungsluft herauszufiltern.



Im Empa-Windkanal lassen sich etwa Russpartikel aus Dieselmotoren untersuchen. Die Erkenntnisse könnten zu wirksameren Russfiltern und Dieselmotoren führen.

Grosse Oberflächen nanometergenau bearbeiten

In Thun wurde 2011 ein neues Laserzentrum eingeweiht. Herzstück der Anlage: ein gepulster Ultraviolett-(UV)-Laser, der auf bis zu drei Quadratmeter grossen Oberflächen nanometerdünne Schichten präzise abträgt. Indem Materialoberflächen mikrostrukturiert werden, lassen sich

3

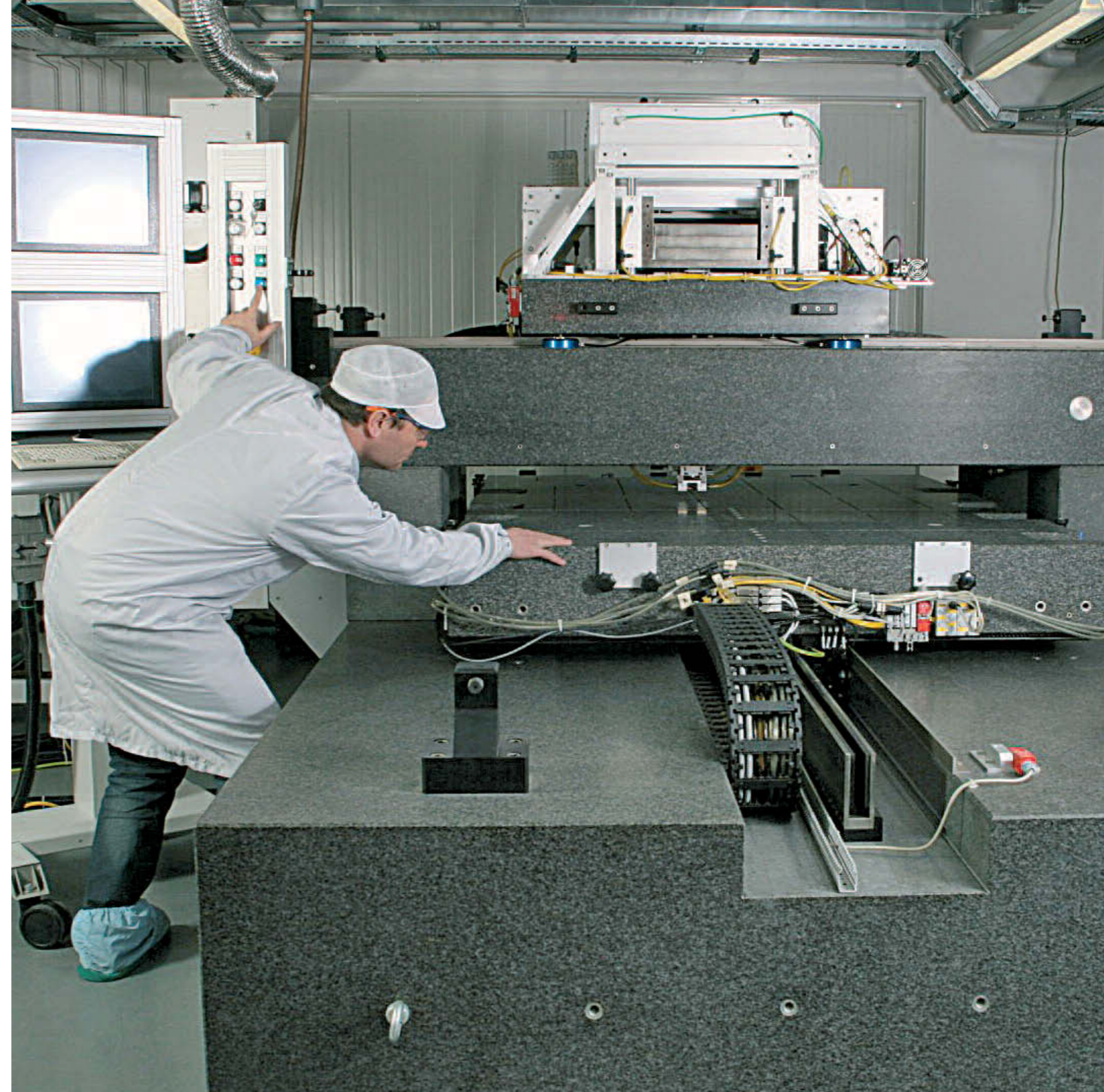
Quadratmeter grosse Oberflächen werden in der neuen Laseranlage mikro- und nanostrukturiert. Ein 19 Tonnen schwerer Granitsockel sorgt dafür, dass die zu bearbeitende Folie erschütterungsfrei aufliegt.

neue physikalisch-mechanische Effekte erzeugen; die Mikrostrukturen verringern beispielsweise Reibung, reduzieren den Luftwiderstand oder verhindern Pilzbewuchs. Anfertigen lassen sich auch Folien für optische Strukturen mit lichtsteuernden Eigenschaften, zum Beispiel 3D-Bildschirme, die ohne Brillen funktionieren. Sogar neuartige Fensterscheiben könnten entwickelt werden, die nachts Innenräume beleuchten und tagsüber als Solarzelle fungieren. Auch Materialien für elektrochemische Prozesse lassen sich «vorkeimen», damit elektrische Verbindungen auf

flexiblen Bildschirmen oder Solarzellen «wachsen».

Die Anlage – eine von weltweit nur dreien – wird von der Empa in Zusammenarbeit mit der Firma Crealabs GmbH betrieben. Vom neuen Laserzentrum profitiert aber nicht nur die Materialforschung; auch den Industriepartnern der Empa eröffnet es völlig neue Möglichkeiten. Die grossflächige Laserbearbeitung von Oberflächen erlaubt es beispielsweise, Abformwerkzeuge herzustellen. Diese benötigt die Industrie, um strukturierte Folien als günstige Meterware zu

Die Bearbeitung mit dem UV-Laser verleiht Materialien neue physikalisch-mechanische Eigenschaften. Die Mikrostrukturen verringern zum Beispiel Reibung, wirken wasserabstossend oder verhindern Pilzbewuchs.



produzieren. Bislang mussten Abformwerkzeuge jeweils aus verschiedenen Teilen zusammengesetzt werden; im neuen Laserzentrum lassen sie sich dagegen in einem Stück fertigen. Herstellen lassen sich auch Folien für optische Sicherheitsmerkmale. Schon jetzt bemühen sich verschiedene Länder, die Hologramme auf ihren Banknoten durch mikrostrukturierte Folien mit optischen 3D-Effekten zu ersetzen.



Auf der Laseranlage können grossflächige Abformwerkzeuge hergestellt werden, etwa ein 350 x 350 Quadratmillimeter grosses Mikrolinsengitter auf einem flexiblen Substrat.



Neben Abformwerkzeugen werden auch dünnste Schichten auf Folien direkt per Rolle-zu-Rolle-Verfahren mikrostrukturiert.

Treibhausgase: Selbstdeklaration ist gut, Kontrolle besser

Fluorkohlenwasserstoffe sind potente Treibhausgase, deren Emissionen gemäss Kyoto-Protokoll gesenkt werden müssen. Laut Meldungen der teilnehmenden Länder nimmt in Westeuropa etwa der Ausstoss an Trifluormethan (HFC-23) in den letzten Jahren ab. Offiziell

15'000

- mal klimaaktiver als CO₂ ist HFC-23. Und mit einer atmosphärischen Halbwertszeit von rund 270 Jahren erst noch extrem langlebig. Es entsteht bei der Herstellung von dem als Kühl- und Schäummittel dienenden Chlordifluormethan (HCFC-22).

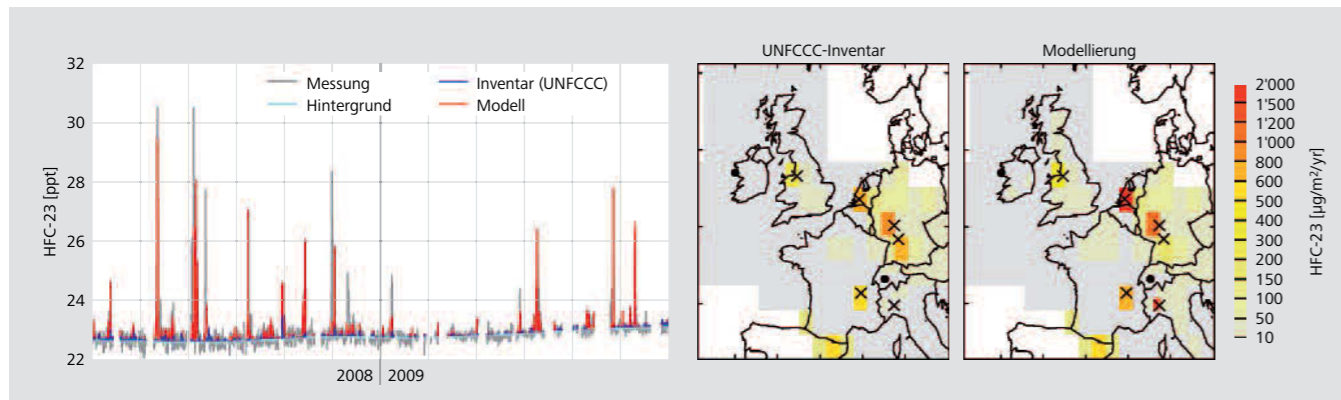
weist Italien beispielsweise seit 1996 keine nennenswerten HFC-23-Emissionen aus. Ob dem so ist, untersuchten Empa-Forscher; mit dem speziellen Gaschromatograf-Massenspektrometer MEDUSA können sie Emissionsmengen von mehr als 50 halogenierten Treibhausgasen schnell und genau abschätzen. Dank atmosphärischer und meteorologischer Computermodelle sind die Forscher darüber hinaus auch in der Lage, die Emissionsquellen regional zu identifizieren.

Das ernüchternde Ergebnis der Empa-Studie: Westeuropa emittiert rund doppelt so viel HFC-23 wie offiziell deklariert. Dabei unterscheiden sich die Länder in ihrer «Meldegenauigkeit» deutlich. Italien stösst zehn- bis zwanzigmal mehr HFC-23 aus, als es offiziell ausweist. Dass es auch anders geht, zeigen die Deklarationen anderer europäischer Staaten, die im Wesentlichen mit den abgeschätzten Emissionen übereinstimmen. Um die HFC-23-Mengen in der Atmosphäre über Westeuropa möglichst genau abzuschätzen, hatten die Empa-Forscher vom Juli 2008 bis Juli 2010 die HFC-23-Konzentrationen analysiert – sowohl auf dem Jungfrauojoch als auch in

Mace Head, einer Messstation im Westen Irlands. Dabei entdeckten sie immer wieder «Peaks», die weit über der Durchschnittsbelastung lagen. Über atmosphärische Transportmodelle berechneten sie, woher die belasteten Luftmassen kamen, die das HFC-23 aufs Jungfraujoch verfrachteten. Ihr Ergebnis: Sechs Emissionsquellen für HFC-23 konnten punktgenau identifiziert werden. Allen voran: die einzige Produktionsstätte Italiens westlich von Mailand, wo HFC-23 als Nebenpro-

dukt von Kühl- und Schäummittel und in der Teflonproduktion entsteht.

Mit den Ergebnissen haben die Forscher bewiesen, dass Messungen dieser Art geeignet sind, die Einhaltung internationaler Übereinkünfte zur Luftreinhaltung zu überprüfen. Das Kyoto-Protokoll sieht zwar noch keine unabhängigen Kontrollmechanismen vor; in Folgevereinbarungen mit bindenden Emissionszielen könnten diese aber von zentraler Bedeutung sein.



HFC-23-Konzentrationen auf dem Jungfraujoch: Tatsächlich gemessene (grau) und aus den offiziellen Inventaren berechnete Werte (dunkelblau) weisen eine grosse Diskrepanz auf; die Empa-Modellierung (rot) bildet die Messwerte deutlich besser ab. Das Inventar der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) unterschätzt die tatsächlichen HFC-23-Emissionen teils massiv. Über Transportmodelle identifizierten die Messungen auf dem Jungfraujoch alle sechs Emissionsquellen punktgenau.

Die Schadstoffe, die in einer Fabrik in der Nähe von Mailand entstehen, «überwinden» auch Landesgrenzen.



Vorhänge, die Lärm «schlucken»

Forscher der Empa haben zusammen mit dem Textildesignunternehmen Annette Douglas Textiles und der Seidenweberei Weisbrod-Zürcher in einem KTI-Projekt leichte, lichtdurchlässige Vorhangstoffe entwickelt, die Schall hervorragend absorbieren. Eine Kombination, die in der modernen Innenarchitektur bis anhin fehlte. Seit kurzem sind die neuen Lärm «schluckenden» Vorhänge auf dem Markt.

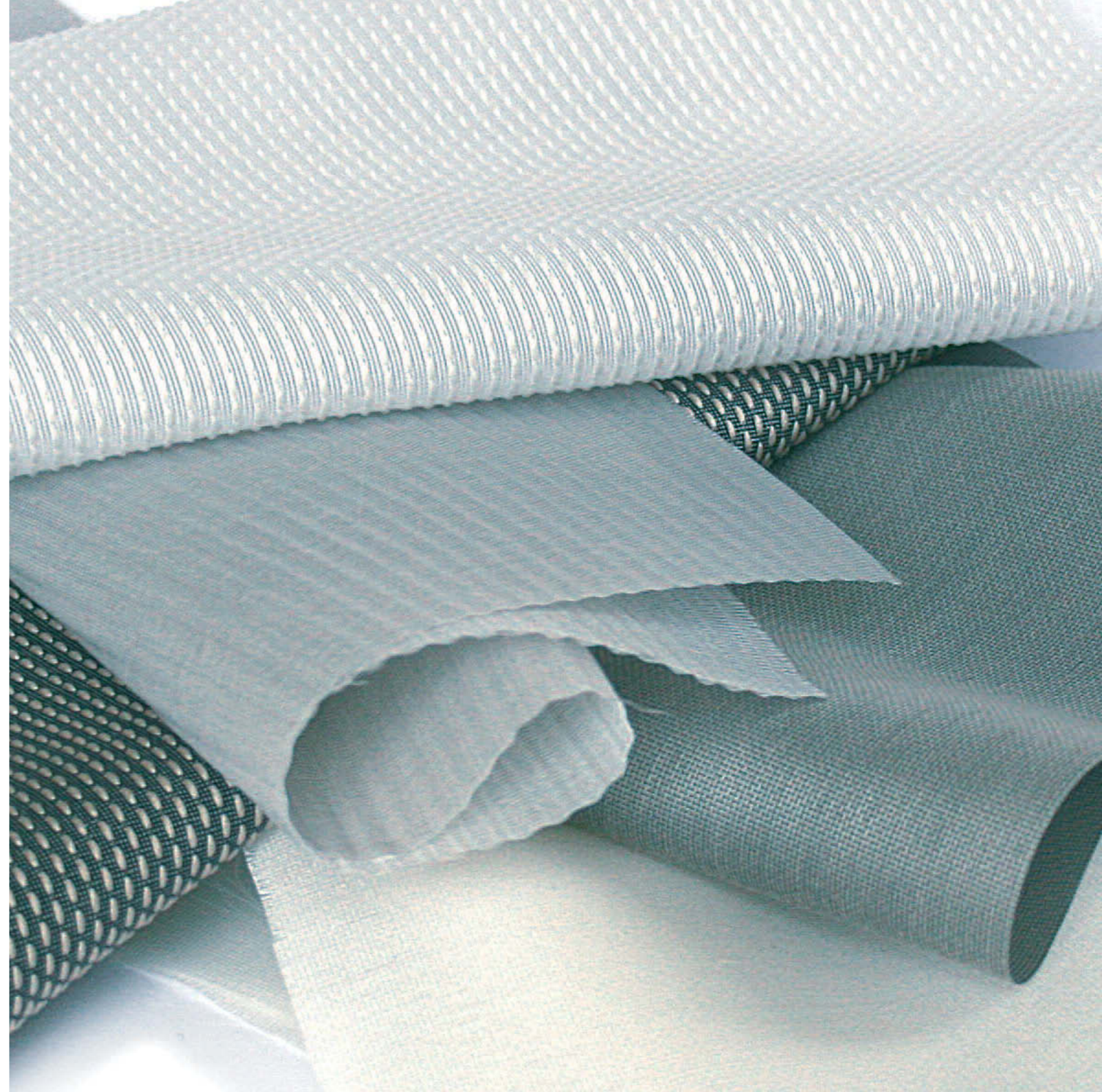
Das erste akustisch optimierte Leichttextil entstand – am Computer. Die Empa-Akustiker vermittelten den Textilfachleuten eine Art «Rezept», mit dem sich gezielt ein Schall schluckendes Gewebe herstellen lassen sollte. Dazu entwickelten sie zunächst ein Modell, das sowohl die mikroskopische Struktur des Gewebes als auch dessen makroskopischen Aufbau abbildet. In

Kombination mit akustischen Messungen an verschiedenen Proben konnten sie das Gewebe Schritt für Schritt akustisch optimieren, bis die neuen Textilien fünfmal mehr Schall schluckten als herkömmliche lichtdurchlässige Vorhänge. Die Textildesignerin Annette Douglas übersetzte die neuen Erkenntnisse webtechnisch: Sie wählte die Garne aus und entwickelte eine spezielle Webstruktur, was den Stoffen die notwendigen Eigenschaften hinsichtlich Brennbarkeit, Lichtdurchlässigkeit und Ästhetik verlieh. Weisbrod-Zürcher schliesslich passte den anspruchsvollen Prozess so an, dass die Vorhänge industriell gefertigt werden können.

5

-mal mehr Schall als herkömmliche Leichtvorhänge schluckt der neue Vorhang bei einem (optimalen) Abstand von 15 Zentimeter von der Wand.

Die Kollektion von Annette Douglas Textiles heisst (sinnigerweise) «Silent Space» und umfasst verschiedene Stoffe.



Das Projektteam erhielt den «Design Preis Schweiz» für innovative Lösungen von textilen Flächengebilden. Die Stoffe seien eine echte und wertvolle Innovation, die sich auf dem Markt bald durchsetzen dürfte, überzeugten durch ihre zurückhaltend-schlichte Erscheinung und eröffneten ganz neue Möglichkeiten bei der Gestaltung von Innenräumen, urteilte die Jury.



Mit den neuen Schall schluckenden und trotzdem lichtdurchlässigen Vorhängen eröffnen sich neue Möglichkeiten, Innenräume zu gestalten.



Energie aus der Sonne wird immer attraktiver

Seit die ersten Solarmodule vor mehr als 50 Jahren für die Energieversorgung von Telefonverstärkern zum Einsatz kamen, hat die Photovoltaik im Alltag Einzug gehalten. Einer weiteren Verbreitung stehen jedoch auch heute noch hohe Kosten entgegen – obwohl die stetig wach-

sende Produktion die Preise für Solarzellen kontinuierlich sinken lässt; verdoppelt sich die installierte Kapazität, sinkt der Preis für ein Solarmodul erfahrungsgemäss um rund 20 Prozent. Die marktüblichen Solarmodule aus kristallinen Siliziumzellen wandeln zwar Sonnenlicht effizient in Energie um, haben aber auch Nachteile. So sind sie etwa schwer, starr und sperrig, was den Transport und die Installation erschwert. Das Halbleitermaterial Silizium wird zudem – obwohl ausreichend vorhanden – durch die steigende Nachfrage immer teurer. Es lohnt sich daher, nach Alternativen zu suchen.

18.7

Prozent Energieeffizienz erreichten Solarzellen, bei denen die Licht absorbierende Schicht aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) besteht.

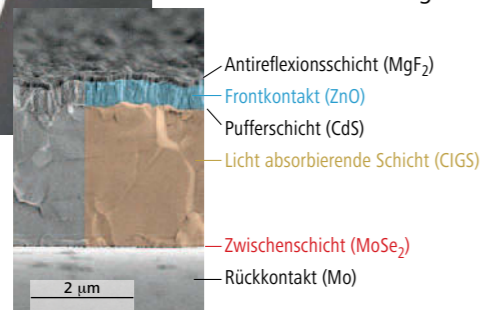
So entwickelt ein Empa-Team beispielsweise flexible Dünnschicht-Solarzellen aus anorganischen Materialien, die kostengünstig hergestellt werden können. Wenn dafür keine starren Glasplatten mehr nötig sind, können auf kompakten Produktionsmaschinen im so genannten «Roll-to-Roll»-Verfahren schnell grosse Mengen von Solarpanelen erzeugt werden. Auch Auslieferung und Montage würden deutlich einfacher. Zudem bieten flexible Dünnschicht-Solarmodule neuartige Anwendungsmöglichkeiten, etwa auf Hausfassaden, Solarfeldern oder bei tragbaren elektronischen Geräten.

Flexible und leichte Hochleistungssolarzellen – auf Kunststoff- oder Metallfolien – haben daher ein enormes wirtschaftliches Potenzial. Eine an der Empa entwickelte Technik hält mit 18.7 Prozent momentan den Weltrekord für die Effizienz der Energieumwandlung. Dabei besteht die Schicht, die Sonnenlicht absorbiert und in Elektrizität umwandelt, aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (kurz CIGS). Eine andere aktive Schicht, die eben-

falls auf Trägerfolien aufgedampft werden kann und im Empa-Labor einen (zweiten) Weltrekord erzielt hat, ist Cadmiumtellurid (CdTe). Entscheidend ist, dass die Herstellungsprozesse bei relativ niedrigen Depositionstemperaturen (unter 450 Grad Celsius) ablaufen, da Kunststofffolien nicht so hitzebeständig sind wie Glas.

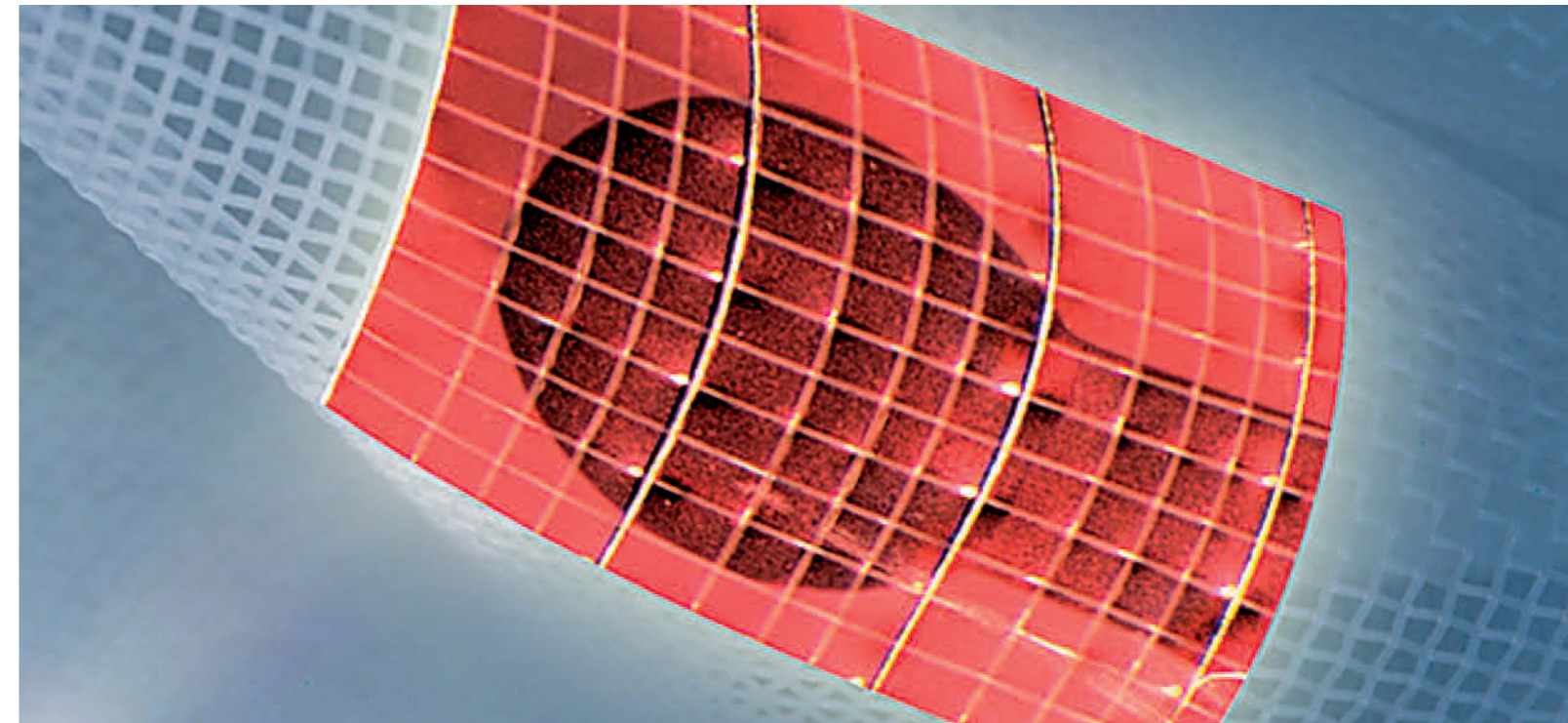
Damit die Serienfertigung kostengünstiger Solarmodule möglichst bald Realität wird, überträgt die Empa Innovationen aus ihren Labors regelmässig an Industriepartner. Empa-Forscher arbeiten zurzeit etwa mit dem Start-up-Unternehmen «Flisom» daran, die Produktionsprozesse weiterzuentwickeln und die Produktion der hocheffizienten Zellen hochzufahren.

Ein weiteres Forschungsteam der Empa verwendet anstatt anorganischer Halbleitermaterialien Polymere und organische Farbstoffe für die Beschichtung der Trägerfolien. Ein Vorteil dieser Technologie liegt darin, dass sie ohne seltene Elemente auskommt und Materialien wie das bisher in der Photovoltaik häufig gebrauchte Indium schont.



Querschnitt durch die Licht absorbierende Schicht.

Die an der Empa entwickelte CIGS-Dünnschicht-Solarzelle mit Rekord-effizienz ist sehr flexibel.



Solarzelle aus rein organischen Materialien: Das Trägermaterial ist ein flexibles und transparentes Polymer-Präzisionsgewebe. Für die nötige Leitfähigkeit sorgen eingewobene Metallfäden. Organische Solarzellen können ohne den Einsatz von seltenen Metallen hergestellt werden. (© Wiley-Blackwell)

KitePower: Kraftwerk in luftiger Höhe

Die Entwicklung grosser Drachen, um Windenergie zu gewinnen, wird zurzeit weltweit vorangetrieben. Denn der Wind bläst in grösseren Höhen stärker und konstanter. Dieser Bereich ist aber selbst für die grössten Windräder ausser «Reichweite» – 85 Prozent aller Windräder in Mitteleuropa operieren mit Nabenhöhen von weniger als 120 Meter. Grosse Drachen können dagegen mehrere hundert Meter oder sogar Kilometer aufsteigen und wären so in der Lage, diese enorme Energiequelle zu erschliessen.

300

Gramm pro Quadratmeter oder weniger wiegen die aufblasbaren Tensairity®-Drachen.

Dazu muss der Drachen in der Starkwindzone mit grosser Geschwindigkeit in Bahnen fliegen, die im Wesentlichen quer zum Wind verlaufen. Er steigt auf und zieht dabei an dem Zugseil, das auf einer Trommel aufgewickelt ist. Diese Trommel ist mit einem Generator gekoppelt, der beim Steigen des Drachens elektrische Energie produziert. Ist eine gewisse Zielhöhe erreicht, wird der Drachen aus dem optimalen Arbeitsbereich herausgeflogen und sein Anstellwinkel so verändert, dass er sich mit geringem Kraftaufwand wieder auf eine Mindesthöhe einziehen lässt. Dann wird der Drachen wieder in den Wind gelenkt, er steigt erneut auf, der Zyklus beginnt von vorne. Durch das Auf und Ab wird Strom erzeugt.

Tensairity®-Träger, die aufgebaut sind aus einer luftgefüllten Hülle, kombiniert mit Stangen und Kabeln, haben sich im Bauwesen als extrem leichte Tragstrukturen mit grosser Tragfähigkeit profiliert. Das Ziel ist jetzt, diese Technologie auch für sehr leichte Flügelstrukturen ein-

zuwickeln. Diese Trommel ist mit einem Generator gekoppelt, der beim Steigen des Drachens elektrische Energie produziert. Ist eine gewisse Zielhöhe erreicht, wird der Drachen aus dem optimalen Arbeitsbereich herausgeflogen und sein Anstellwinkel so verändert, dass er sich mit geringem Kraftaufwand wieder auf eine Mindesthöhe einziehen lässt. Dann wird der Drachen wieder in den Wind gelenkt, er steigt erneut auf, der Zyklus beginnt von vorne. Durch das Auf und Ab wird Strom erzeugt.

Tensairity®-Träger, die aufgebaut sind aus einer luftgefüllten Hülle, kombiniert mit Stangen und Kabeln, haben sich im Bauwesen als extrem leichte Tragstrukturen mit grosser Tragfähigkeit profiliert. Das Ziel ist jetzt, diese Technologie auch für sehr leichte Flügelstrukturen ein-

Hightech in Höhenluft: Das Team des «SwissKitePower»-Projekts hat mit diesem superleichten Prototyp einen erfolgreichen Schleppversuch durchgeführt.



Kontakt:
Dr. Rolf Luchsinger
rolf.luchsinger@empa.ch

zusetzen. Erste Demonstrationsmodelle mit einer Fläche bis 11 Quadratmeter und einem Gewicht von wenigen Kilogramm haben das Potenzial der Tensairity®-Technologie für Flügel bereits gezeigt. Die nächste Aufgabe ist nun, diese Drachen zu optimieren und deren Gebrauchstauglichkeit zu beweisen.

Das Testen derart grosser Drachen stellt eine grosse Herausforderung dar. Mit Hilfe der 3D-Bildkorrelationsmethode wird die Form der flexiblen Struktur unter Last vermessen. Im Rahmen des

«SwissKitePower»-Projekts werden in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW), der ETH Zürich und dem Energiekonzern Alstom die Empa-Drachen an eine mobile Bodenstation gehängt, um die Steuerbarkeit und die Leistungsausbeute zu ermitteln. Das Verhalten der Drachen im Wind wird auch erprobt, indem die Drachen mit Hilfe eines Fahrzeugs auf einer langen Piste geschleppt werden. So lassen sich die auf die Seile wirkenden Kräfte, die aerodynamische Effizienz und die Verformung der Flügel bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten messen.

Die zweite Prototypengeneration der Tensairity®-Drachen mit veränderter Form und verbesserter Aerodynamik ist derzeit in Arbeit. Für Herbst 2012 sind neue Testflüge geplant.



Tensairity®-Technologie in der Erprobung: Die tragenden Teile der Drachen bestehen aus speziellen Luftkammern. Künftig könnten solche Drachen zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

Aus einem Treibhausgas wird wertvoller Sprit

Das Speichern von nachhaltigem, aber teuer erzeugtem Solar- und Windstrom ist noch immer schwierig. Probleme gibt es vor allem dann, wenn ein Überangebot an Ökostrom herrscht, den das Netz nicht aufnehmen kann. Aus dem überschüssigen Strom liesse sich vor Ort Wasserstoff erzeugen – doch dann stellt sich ein weiteres Problem: Wasserstoff lässt sich schlecht speichern und transportieren.

200 – 300

Grad Celsius müssen im Mini-Reaktor herrschen, damit sich aus Wasserstoff, H₂, und Kohlendioxid, CO₂, Methan, CH₄, bildet.

Um das Problem zu lösen, verfolgen Empa-Fachleute einen Plan, auf den auch die alten Alchemisten stolz gewesen wären: «Verwandle» mit dem billigen, ungeliebten Treibhausgas CO₂ den flüchtigen Wasserstoff in eine leicht handhabbare, brennbare Flüssigkeit. Am Ende entsteht so ein synthetischer Treibstoff, Synfuel genannt. Der alte Alchemistentraum

– aus Blei Gold zu machen – wäre damit ins 21. Jahrhundert übersetzt. Im Detail funktioniert das so: Ein an der Empa entwickelter Katalysator soll H₂ und CO₂ zu kurzkettingen Olefinen verbinden, etwa zu Oktan. Dieser bei Raumtemperatur flüssige Kohlenwasserstoff ist den meisten Autofahrenden ein Begriff: Die «Oktanzahl» gilt als Qualitätsmerkmal für klopfestes Benzin. Synthetisch erzeugtes Oktan liesse sich wie gewohnt tanken und in herkömmlichen Motoren verwenden. Damit wäre der solar oder per Windkraft erzeugte Wasserstoff endlich in eine gut speicher- und transportierbare Form gebracht; zugleich würde die Methode CO₂ aus der Atmosphäre binden.

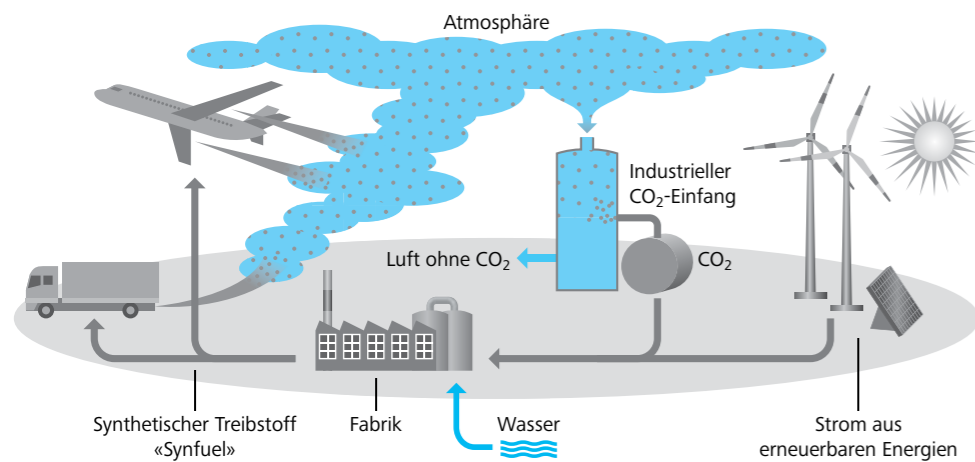
– aus Blei Gold zu machen – wäre damit ins 21. Jahrhundert übersetzt. Im Detail funktioniert das so: Ein an der Empa entwickelter Katalysator soll H₂ und CO₂ zu kurzkettingen Olefinen verbinden, etwa zu Oktan. Dieser bei Raumtemperatur flüssige Kohlenwasserstoff ist den meisten Autofahrenden ein Begriff: Die «Oktanzahl» gilt als Qualitätsmerkmal für klopfestes Benzin. Synthetisch erzeugtes Oktan liesse sich wie gewohnt tanken und in herkömmlichen Motoren verwenden. Damit wäre der solar oder per Windkraft erzeugte Wasserstoff endlich in eine gut speicher- und transportierbare Form gebracht; zugleich würde die Methode CO₂ aus der Atmosphäre binden.

Kontakt:
Prof. Dr. Andreas Züttel
andreas.zuettel@empa.ch

Die Apparatur, in der diese Umwandlung stattfinden kann, steht in einem Labor an der Empa: ein unscheinbarer, beheizbarer Metallzylinder von der Grösse eines Bierfässchens. Geführt von einem Trägergas, fliessen CO_2 und H_2 in den Zylinder; die Gas Mischung trifft dort auf das Metallhydrid Mg_2NiH_4 und reagiert auf dessen Oberfläche. Der kleine Reaktor ist erst seit Anfang 2011 in Betrieb, doch erste Ergebnisse liegen bereits vor: Bei Temperaturen zwischen 150 und 350 Grad Celsius gelang es dem Empa-Team, aus CO_2 und H_2 Methan zu erzeugen – also Erdgas, CH_4 .

Auch ein Mechanismus ist schon postuliert: Das zunächst vorliegende Metallhydrid Mg_2NiH_4 zerfällt während der zyklischen Aufnahme und Abgabe von Wasserstoff zu Magnesiumoxid MgO und fein verteiltem Nickel. An den Nickelpartikeln lagern sich dann CO_2 -Moleküle an und werden – wie gewünscht – zu CH_4 hydriert.

In einem nächsten Schritt sucht das Team nun nach Metallhydriden, die länger-kettige Olefine wie Oktan erzeugen können. Die Vision von synthetischem Sprit aus erneuerbaren Energien rückt damit näher.



Energieversorgung der Zukunft? Aus Öko-Strom und CO_2 werden künstliche Treibstoffe synthetisiert – «Synfuels», mit denen genau wie heute Autos, Lastwagen und Flugzeuge betankt werden. Das Treibhausgas aus den Auspuffrohren wird wieder «eingesammelt» und erneut verwendet – der Kreislauf ist geschlossen.

An der Apparatur zur Umwandlung von Wasserstoff, H_2 , und Kohlendioxid, CO_2 , zu Methan, CH_4 , wird die Gasanalyse geprüft. Meldet das Gerät «Benzingeruch», hat die ersehnte Reaktion stattgefunden.



Dieselabgase – gereinigt mit Empa-Know-how

Im Motorenlabor der Empa arbeitet ein kleines Team an der Diesel-Abgasreinigung der Zukunft. Profitieren werden alle, die in 20 Jahren am Strassenrand atmen. Und das bleibt schliesslich kaum jemandem erspart.

500

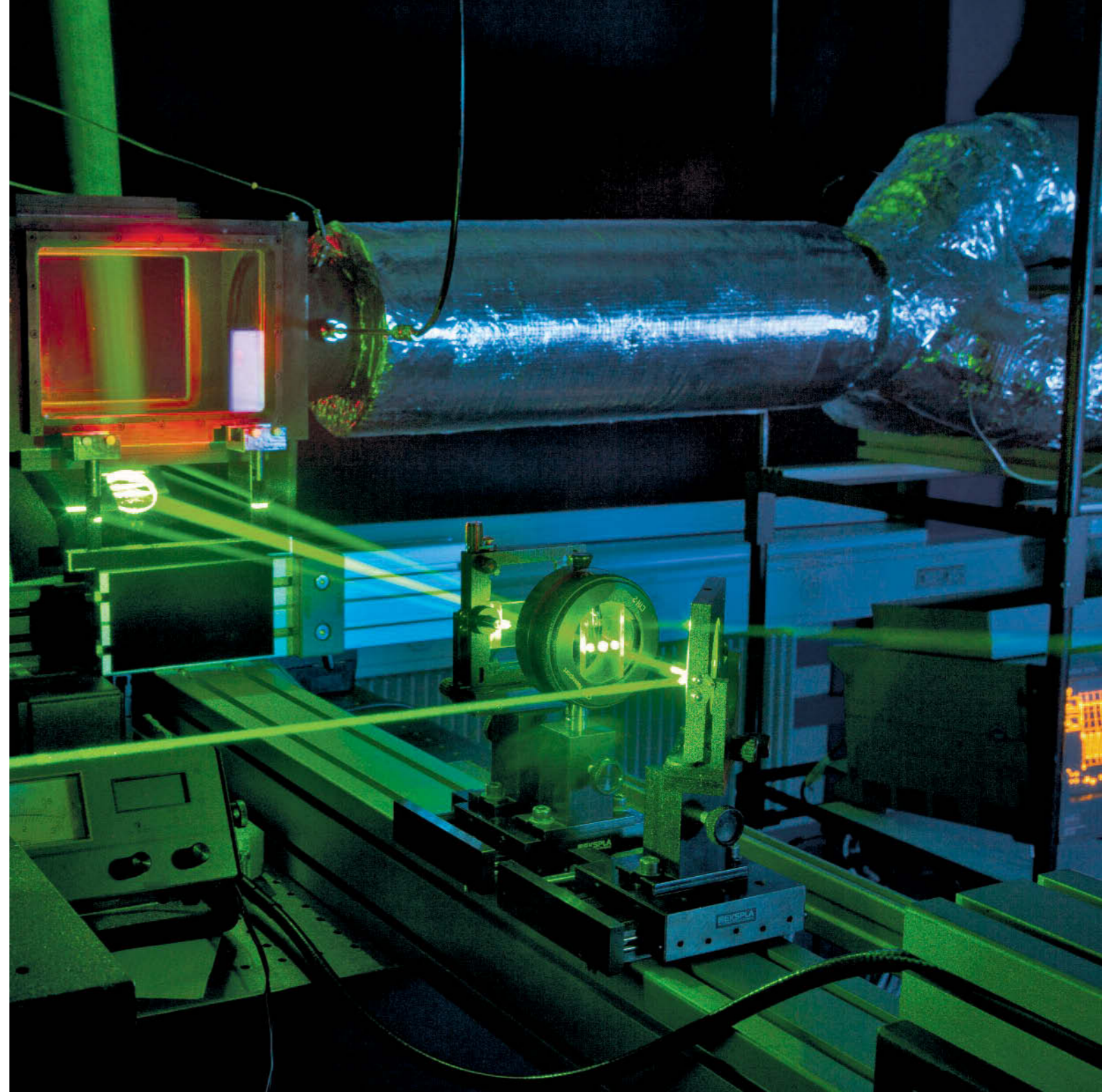
Grad Celsius erreicht die Lufttemperatur im Abgasströmungslabor – das entspricht der Temperatur im Auspufftrakt, wenn ein Dieselmotor mit voller Leistung läuft.

Das schweizweit einzige Abgasströmungslabor wurde 2011 konzipiert und betriebsfertig eingerichtet und bestand Ende des Jahres seine ersten Testläufe. Die Forschung an der Dynamik von Abgasströmen soll dabei helfen, die in den nächsten Jahren strenger werdenden Grenzwerte für Dieselabgase einzuhalten. Die Forschungsergebnisse werden vor allem für mittelständische Fahrzeughersteller hilfreich sein. Denn die aufwändige Abgasreinigung, die heute nur bei Schwerlastwagen zu finden ist, soll morgen auch in Traktoren, Kommunalfahrzeugen und Baumaschinen stecken.

Technisch effiziente und kostengünstige Lösungen sind gefragt, um am Markt zu bestehen. Die Empa hilft, solche Lösungen zu entwickeln.

Es geht um die Harnstoffeinspritzung, eine neue Technik, um Stickoxidemissionen moderner Dieselmotoren zu vermeiden: Ins heisse Abgas wird eine Harnstofflösung eingesprüht, die unter dem Namen «Adblue» in Europa und den USA im Handel ist. Der Harnstoff zerfällt zu CO_2 und Ammoniak – und dieser reduziert die Stickoxide zu Stickstoff und Wasserdampf. Der Vorteil: Im Gegensatz zum NO_x -Speicher-Kat, der in Diesel-PWs verbreitet ist, steigt der

Das Herzstück des Abgasströmungslabors: Bis zu 500 Grad Celsius heisse Luft strömt in die verglaste Kammer. Ein roter Laser beleuchtet den Sprühversuch von vorn, dahinter zeichnet eine Hochgeschwindigkeitskamera die Flugbahn der entstehenden Tröpfchen auf. Der grüne Laser misst gleichzeitig die Geschwindigkeit der Tröpfchen.



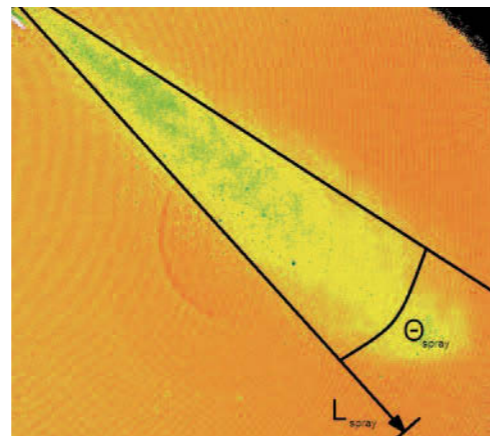
Treibstoffverbrauch nicht an. Doch die Methode hat auch einen Nachteil: Kommt zu wenig Adblue in den Auspufftrakt, wird nur ein Teil der Stickoxide zerstört. Gelangt hingegen zu viel Adblue ins Abgas, dann bleibt Ammoniak übrig – der mit seinem stechenden Geruch störend auffällt und zudem giftig ist. Alle aktuellen Abgasreinigungsanlagen bewegen sich deshalb auf der «sicheren Seite»: Nur rund 60 Prozent der nötigen Adblue-Menge werden eingespritzt. Denn: Es darf auf keinen Fall überdosiert werden.

Genau an dieser Stelle kommt das Abgasströmungslabor der Empa ins Spiel – eine knapp zehn Meter lange Anlage in ihrem Motorenhaus. Hier soll in mehreren Versuchsreihen herausgefunden werden, wie sich die Adblue-Lösung möglichst effizient im Abgas verteilen lässt, was die richtige Dosierung bei verschiedenen Lastzuständen des Motors ist und wie optimale Abgaswerte mit möglichst geringem technischem Aufwand zu erreichen sind.

2012 wollen sich die Empa-Forschenden in erster Linie mit der Spray- und Fluid-Dynamik beschäftigen. Ihr Ziel ist, eine wissenschaftliche Systematik zu erarbeiten, die es selbst kleinen und mittleren Fahrzeug- und Baumaschinenherstellern erlaubt,

quasi «nach Rezeptbuch» eine Abgasreinigung passend zu ihren Motoren und Anforderungen zu entwerfen. Nur so können sie künftige Abgasgrenzwerte einhalten.

Am Empa-Projekt ist bereits ein Schweizer Fabrikant beteiligt, der von den Forschungsergebnissen profitieren will. Während die Versuche zu Beginn des Projekts mit heisser Luft oder künstlich hergestellten Gasmischungen gefahren werden, kommt in der Endphase ein handelsüblicher Dieselmotor zum Einsatz, um die neu entwickelten «Diesel-Kats» unter realistischen Bedingungen zu untersuchen.



Ein Sprühversuch, wie er im Strömungslabor aufgenommen wird: Deutlich sind Grösse und Flugweite der Tröpfchen zu sehen. Ziel ist es, NO_x in Dieselabgasen durch eine genau dosierte Menge von Adblue-Lösung zu reduzieren.

Der Laser bringt es ans Licht: die «Isotopensignatur» von CO₂

Kohlendioxid entsteht nicht nur beim Verbrennen fossiler Brennstoffe, sondern auch durch die Atmung von Menschen, Tieren, Pflanzen, Bakterien und anderen Lebewesen. Doch Kohlendioxid ist nicht gleich Kohlendioxid: CO₂-Moleküle aus Verbrennungsprozessen un-

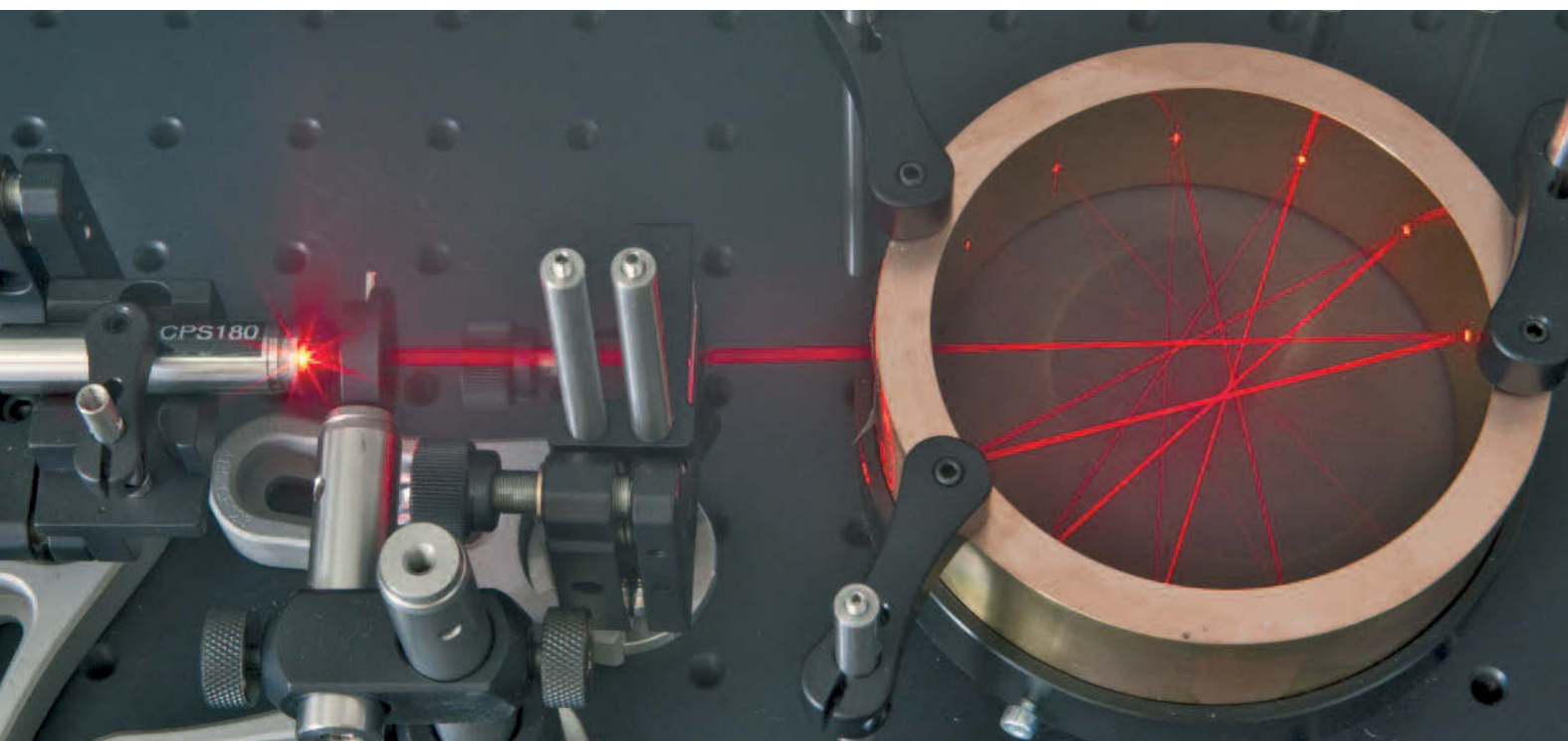
terscheiden sich von «biologisch produziertem» CO₂ in ihrer «Isotopensignatur», ihre Kohlenstoff- und Sauerstoffatome haben eine unterschiedliche Masse. Ein Quantenkaskadenlaser-Spektrometer der Empa, das in Zusammenarbeit mit der US-Firma Aerodyne Research entwickelt wurde, kann diese Isotopen nachweisen und kontinuierlich messen. Seit einigen Jahren detektiert es auf dem Jungfraujoch CO₂-Moleküle und entschlüsselt ihre Isotopensignatur. Gasproben werden dazu in eine Kammer des Spektrometers geleitet, wo sie dank der Ab-

10⁻⁸

Prozent beträgt der Anteil des CO₂ mit dem (seltenen) ¹³C-Isotop an der Umgebungsluft, der sich mit dem Quantenkaskadenlaser-Gerät noch nachweisen lässt.

sorption eines Quantenkaskadenlaser-Strahls analysiert werden: Die absorbierten Photonen gelangen nicht zum Detektor und werden als «fehlend» erkannt. Werden die CO₂-Isotopenmessungen mit Messungen anderer Schadstoffe ergänzt und mit Wettermodellen kombiniert, lässt sich daraus ihre geografische Herkunft nachweisen.

Ebenso würde sich das Quantenkaskadenlaser-Spektrometer für medizinische Anwendungen eignen. Es kann unterschiedliche Isotope in der Atemluft detektieren, die auf eine Bakterieninfektion des Magens – häufig die Vorstufe zu Magenkrebs – schliessen lassen.

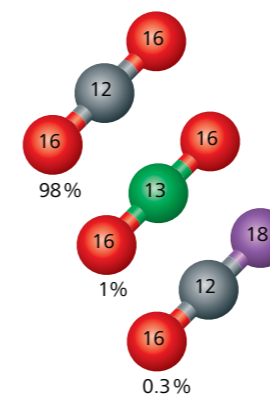


Mit den neuen Messgeräten, die auf Quantenkaskadenlasern basieren, lässt sich die Isotopenzusammensetzung von Spurengasen unterscheiden. Herzstück ist eine Messzelle, in der die Wände den Laserstrahl mehrmals reflektieren. Das erlaubt besonders empfindliche Messungen.

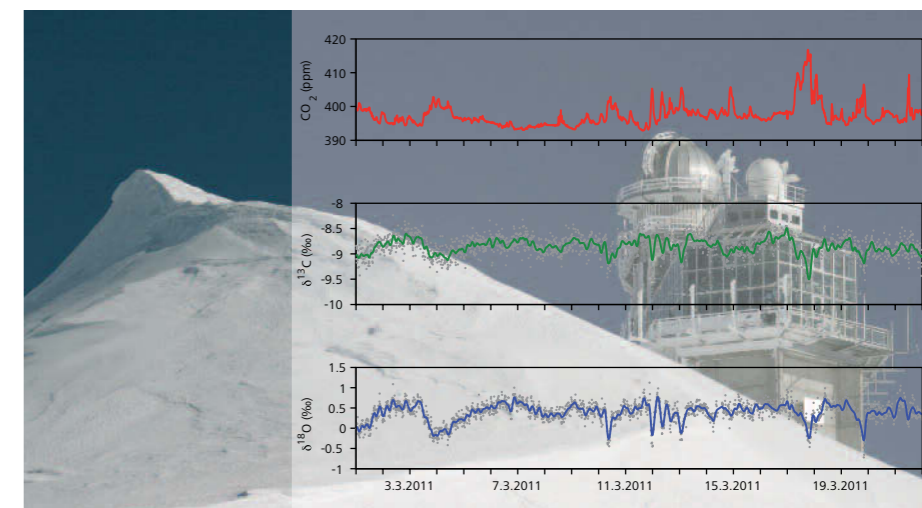
Das erfolgreiche Messprinzip lässt sich auch zur Analyse zahlreicher Spurengase einsetzen. Und in der Halbleiterindustrie könnten damit Prozessanalysen vorgenommen oder in der Lebensmittelbranche der Reifegrad von Früchten bestimmt werden.

Der Vorteil der Quantenkaskadenlaser-Geräte: Sie sind präziser und günstiger als heutige Messgeräte – und liefern erst noch schneller Resultate. Mit verschiedenen Partnern entwickelt die

Empa zurzeit ein neues, empfindlicheres Quantenkaskadenlaser-Gerät, das schnell und selektiv Spurengase messen kann, mobil, nicht grösser als eine Schuhschachtel und einfach zu bedienen sein soll. Während die Empa für Spektroskopie und den Bau des Instruments zuständig ist, zeichnen die EPF Lausanne verantwortlich für gewisse elektronische Bauteile, die ETH Zürich für die Lichtquelle, die Uni Neuenburg für den Detektor, und die FHNW für die Steuerung und Datenverarbeitung.



CO₂ besteht aus einem Kohlenstoff- (C) und zwei Sauerstoffatomen (O), die in der Natur als verschiedene Isotope vorkommen. Mit 98 Prozent am häufigsten ist CO₂ aus ¹²C-Kohlenstoff und ¹⁶O-Sauerstoff.



Messungen auf dem Jungfraujoch: Die gleichzeitige Veränderung der CO₂-Konzentration und der CO₂-Isotopensignatur ($\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Isotope) entsteht durch den Austausch von CO₂ aus der Luft mit dem von der Erdoberfläche und der Verbrennung fossiler Brennstoffe.

Echt smart – Schutzbekleidung mit eingebauter «Klimaanlage»

Funktionelle Sportbekleidung ist heute selbstverständlich, beispielsweise ist eine Sportjacke atmungsaktiv und dennoch wasserdicht. Bei Arbeitskleidern beschränkt sich die Funktionalität dagegen meist auf den eigentlichen Schutz etwa gegen Feuer, spitze

Gegenstände, Chemikalien. Dem Tragekomfort kommt dabei keine grosse Bedeutung zu. Bei kugelsicheren Westen lässt das schützende Kevlar zwar keine Kugeln durch – aber auch keinen Wasserdampf. Polizistinnen und Polizisten, die diese Schutzwesten unter ihrer Uniform tragen müssen, kommen daher nicht nur in wärmerem Klima erheblich ins Schwitzen. Was bei der Büroarbeit lediglich unangenehm ist, beeinträchtigt bei körperlicher Beanspruchung die Leistung – im Einsatz kann das gefährlich werden.

Die Empa entwickelte daher mit Industriepartnern eine «smarte» Schutzweste mit integriertem Kühlsystem, das auf der Coolpad-Technologie basiert, die ursprünglich für medizinische Kühlbekleidung geschaffen worden war. Das in die Weste eingebaute Coolpad wird mit Wasser gefüllt, das durch die Membrane verdampfen kann, wodurch sich das Pad abkühlt. Durch einen textilen Abstandhalter hinter dem Pad, einem so genannten Abstandsgewirk, bläst ein Mini-Ventilator Luft und kühlt so zusätzlich.

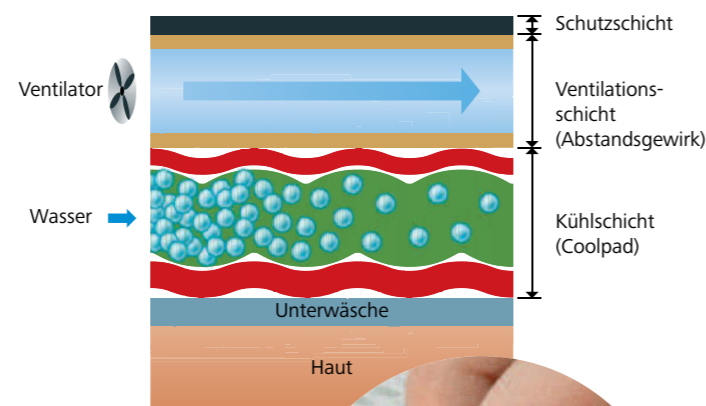
544

Gramm Gewicht verlor ein Proband durch Schwitzen in der neuen «smarten» Schutzweste mit eingebauter Klimaanlage während eines Laborversuchs; in einer herkömmlichen Weste waren es 735 Gramm.

Unter dem Uniformhemd zu tragende ballistische Schutzweste mit integrierter «Klimaanlage», etwa für Angehörige der Polizei.



Eine derartige «Klimaanlage» in ein Bekleidungsstück einzubauen, war ein recht kompliziertes Unterfangen. So war dazu ein neuartiges textiles Abstandsgewirk notwendig, das sowohl druckstabil als auch biege- und anschmiegsam ist und einen sehr geringen Luftwiderstand aufweist; es wurde gemeinsam mit der Firma Eschler entwickelt. Auch Ventilatoren waren keine auf dem Markt, die klein genug waren, um sich in die Kleidung integrieren zu lassen. Deshalb haben die Empa-Ingenieure sie selbst «en miniature» designt; zwei Einheiten samt Batterie und Steuerungselektronik sorgen nun für den kühlenden Luftzug in der Weste. Ebenfalls genügten die bisherigen Coolpads nicht; da sie in der Schutzweste mechanisch stark beansprucht sind, lief häufig Wasser aus. Eine neue Technik verschweisst die ultradünne Membrane der Pads per Diodenlaser weitaus zuverlässiger als bisher. Die Nähte bleiben dabei weich und flexibel. Ausserdem konnten die Empa-Experten auch gleich noch die Verdunstungsrate und somit die Kühlleistung erhöhen. Doch damit nicht genug. Um das Befüllen der Coolpads mit Wasser zu vereinfachen, entwickelten sie eine tragbare Füllstation, die mit Schnellverschluss an die Weste angeschlossen wird und das Pad in einer Minute



Ein mehrlagiges Schichtsystem sorgt für aktive Kühlung, unter anderem mit Ventilation durch das Abstandsgewirk (rundes Bild).



Für Kühlung und somit für Komfort sorgen bei der schussicheren Weste ein mit Wasser befüllbares Coolpad und ein Miniventilator, der Luft durch die Ventilationsschicht bläst.

auffüllt. Im gleichen «Service» lassen sich entladene Minilüfter gegen solche mit vollem Akku austauschen. Danach ist die Weste wieder für drei bis vier Stunden einsatzbereit. Im Labor der Empa zeigten Vergleichsmessungen mit auf dem Markt erhältlichen Kühlsystemen, dass die Neuentwicklung deutlich leichter ausfällt und zudem messbar besser kühlt. Doch auch im praktischen Einsatz hat sich die Weste bereits bewährt: Polizistinnen und Polizisten der Stadtpolizei Zürich haben Prototypen der Weste während einiger warmer Sommertage getestet und die Innovation durchwegs positiv beurteilt. Demnächst wird eine erste Kleinserie der unter der Uniform tragbaren Schutzweste vom Projektpartner Unico swiss tex GmbH angefertigt. Die «smarte» Technologie eignet sich aber auch für über der Kleidung zu tragende Schutzanzüge, Uniformjacken, Tarnwesten und sogar für Rucksäcke. Weitere Entwicklungen wie diese sind bereits in Vorbereitung.

Mikroskop und Werkbank zugleich – das FIB

Bildgebende Verfahren sind in den Materialwissenschaften weitverbreitet. So gibt es auch an der Empa verschiedene Instrumente, die von den zu untersuchenden Objekten Bilder machen, zum Beispiel Ultraschall-, Thermografie- und Röntgengeräte, Elektronen-

mikroskope, Atomkraftmikroskope und viele mehr. Seit rund zehn Jahren verfügt die Empa auch über «Focused Ion Beam» (FIB)-Anlagen, die ähnlich einem Rasterelektronenmikroskop (englisch Scanning Electron Microscope, SEM) funktionieren. Der Unterschied dabei: Die Elektronenquelle ist durch eine Galliumionen-Kanone ersetzt. Damit werden Elektronen und Atome aus der Probe herausgeschlagen. Diese Sekundärteilchen (wie auch gestreute Primärteilchen) werden

detektiert und geben dabei Aufschluss über Topografie und Materialbeschaffenheit der Probenoberfläche. Indem der Ionenstrahl nun, wie bei einem Fernsehbild, Zeile für Zeile über das Probenobjekt rastert, entsteht Punkt für Punkt, Zeile für Zeile ein grösseres Gesamtbild.

Der Vorteil der Galliumionen gegenüber dem Elektronenstrahl eines SEM liegt in ihrer wesentlich höheren Masse. Forscher können daher nicht nur die Oberfläche einer Probe abbilden, sondern sogar ganze Schichten davon abtragen und eigentliche Nanostrukturen herstellen.

0.35

Nanometer Auflösung erzielen Aufnahmen mit einem «Focused Ion Beam» (FIB), das mit Heliumionen arbeitet.

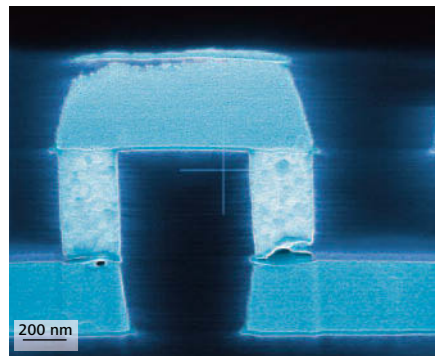
Das im Herbst 2011 in Betrieb genommene Helium-FIB-Gerät eröffnet neue Möglichkeiten in der Nanotechnologie.



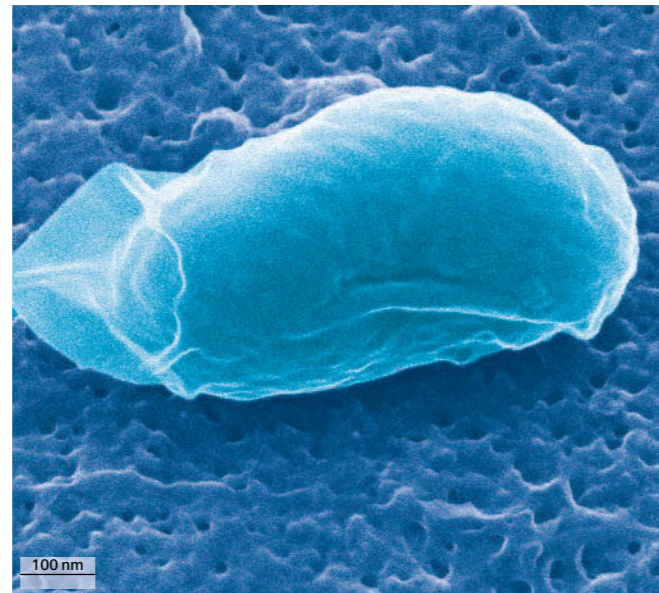
Kontakt:
Dr. Urs Sennhauser
urs.sennhauser@empa.ch

Die jüngste Weiterentwicklung dieser FIB-Geräte benutzt statt Galliumionen einen Strahl aus leichteren Heliumionen. Dies ermöglicht Aufnahmen mit einer bisher unerreichten Ortsauflösung von bis zu 0.35 Nanometer und deutlich verbessertem Kontrast. Ein Gallium-FIB erreicht dagegen nur eine Auflösung zwischen fünf und zehn Nanometer. Ausserdem dringt der Heliumstrahl bei gleicher Beschleunigungsspannung tiefer in die Probe ein.

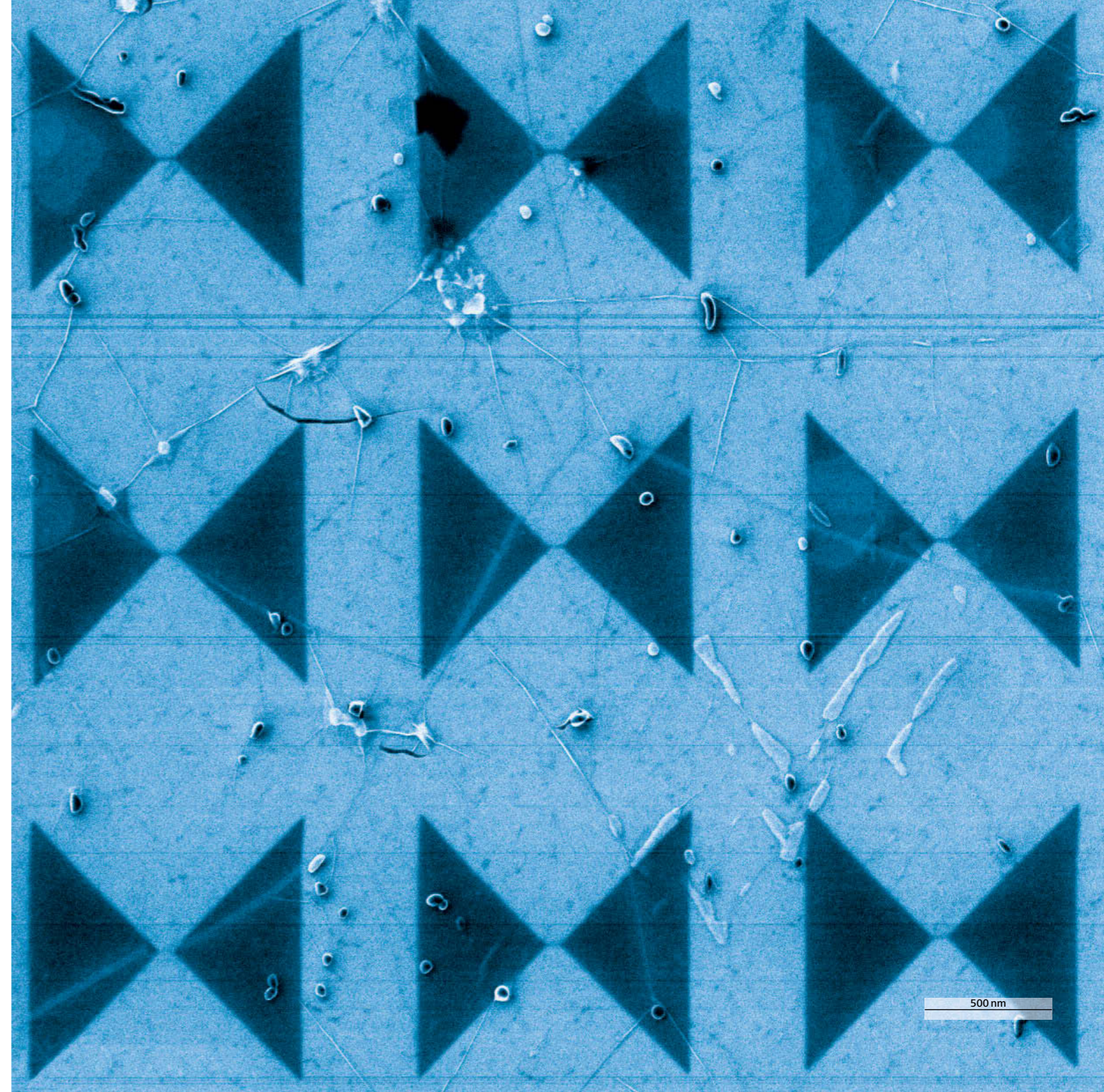
Gerade für Nanotech-Anwendungen ist die Kombination all dieser Vorzüge ein enormer Fortschritt. Das Helium-FIB eignet sich beispielsweise bestens zur Untersuchung ultradünner Schichten in der Mikroelektronik und Materialforschung, wie Kohlenstoffschichten, Graphen genannt, die wegen ihrer aussergewöhnlichen elektronischen Eigenschaften als mögliches Ersatzmaterial für Silizium in der Halbleitertechnologie gehandelt werden.



Die Empa konnte kürzlich eines dieser neuen Helium-FIB-Geräte – das erste und bislang einzige in der Schweiz – dank finanzieller Unterstützung des SNF in Betrieb nehmen. Es wird bereits rege von mehreren Forschungsgruppen der Empa, der ETH Zürich, der Universitäten Zürich und Basel und des PSI genutzt.



Hoch aufgelöste Aufnahmen mit dem Helium-FIB-Gerät: links: Ausfallanalyse in der Mikro- und Nanoelektronik; Mitte: Bakterium für Bioleaching (Probe Brandl / Fabbri, Universität Zürich); rechts: mit dem Gerät «ausgeschnittene» Graphenstruktur.



NEST – die Zukunft des Bauens

Das wohl ehrgeizigste Bauforschungsprojekt der Schweiz: So lässt sich NEST trefflich beschreiben. Das modulare «Gebäudelabor» inmitten des Empa-Campus soll als Demonstrationsobjekt nachhaltige Bautechnologien, -systeme und -materialien von morgen heute schon erlebbar machen. Hier kann all das gewagt und erprobt werden, was nirgendwo sonst möglich ist: neueste Plusenergiemodule, ökologische, nachwachsende Materialien, vollautomatische Hauselektronik – remote gesteuert via iPhone, und, und, und ... Was sich bewährt, wird seinen Weg auf den Markt finden; was durchfällt, wird nach ein bis zwei Jahren durch ein anderes Modul ersetzt – «Plug and Play» am Bau sozusagen.



Anwendungsorientierte Forschung
Innovative Entwicklungen
Wissens- & Technologietransfer
Dienstleistungen & Expertisen
Aus- & Weiterbildung

NEST – baulicher Hochseilakt mit Netz und doppeltem Boden

Experimente am Bau? Da schütteln sich viele Branchenkenner. Visionäre Konzepte sind unbeliebt – denn Gebäude müssen von Anfang an funktionieren und Ertrag bringen. Das verlangt die Bauherrschaft. Für ideenreiches Querdenken bleibt da wenig Raum.

600

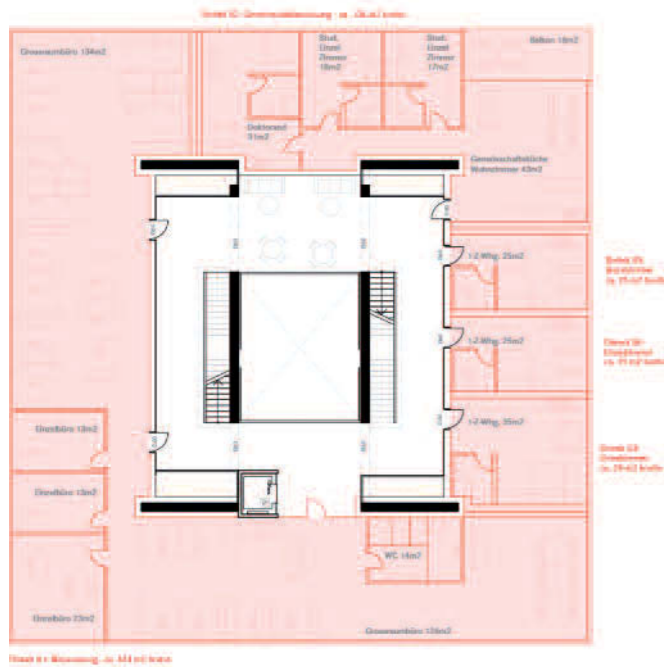
Quadratmeter Nutzfläche für Experimente stehen auf jeder der fünf Etagen von NEST zur Verfügung.

Das Forschungsprojekt NEST, eine Gemeinschaftsinitiative von Empa, Eawag, ETH Zürich und EPF Lausanne, soll nun genau das möglich machen: Modulare Gebäudeteile beherbergen die Experimente. Und wenn etwas nicht funktioniert, wird das Modul einfach ausgetauscht. So lassen sich visionäre Konzepte «erleben», und zwar bei begrenztem Risiko.

Der Entwurf liegt bereits vor: Ein Stahlbetonkern mit einem zentralen Treppenhaus bildet das Rückgrat für das «Gebäudelabor». Aussen werden die Experimente eingehängt. Und dort treten dann visionäre und pragmatische Ideen, modernistische und traditionelle Wohnkonzepte direkt gegeneinander an: Ein voll ökologisches, sich selbst regelndes Passivhausmodul aus Naturwerkstoffen steht dann vielleicht in Nachbarschaft zu einem Minergie-A-Leichtbau mit Vakuumisolation und Trennwänden aus Kohlenstofffaserwaben, dessen neueste Heizungs- und Lüftungselektronik per Smartphone gesteuert wird und das über adaptive photovoltaisch aktive Sonnenschutzsysteme verfügt, die zur Mittagszeit zugleich Schatten und Energie liefern.

Virtueller Einblick in das Treppenhaus von NEST mit Ausblick auf die Cafeteria.





Doch ein Sammelsurium reiner Schaustückmodule allein hätte wenig wissenschaftliche Aussagekraft. Darum sollen ins NEST Menschen einziehen und über ihre Erfahrungen berichten. Geplant ist eine gemischte Nutzung aus Grossraumbüros, Konferenzsälen und Wohnungen, beispielsweise Einzimmerappartements für Doktorierende und Leichtbau-Maisonnettewohnungen für GastwissenschaftlerInnen, die mit ihrer Familie kommen. So haben die NEST-Architekten und -Planer die Chance zu erfahren, wie ihre Häuser der Zukunft auf Menschen wirken, die darin wohnen.

Anders als bei «normalen» Häusern sind bei NEST Fehler erlaubt. Hier darf gewagt werden, was nirgendwo sonst möglich ist, denn die eingeschobenen Module werden nach einigen Jahren ausgetauscht – so sind Bauversuche mit überschaubarem Risiko möglich. Das Versorgungsrückgrat aus Stahlbeton ist dagegen eine Langzeitinvestition in die Bauforschung, es bleibt für Jahrzehnte nutzbar. Für die verschiedenen Projektphasen möchte die Empa Wettbewerbe ausschreiben. Themen wie «Gebäudeautomation vs. passive Klimatisierung» wären möglich; verschiedene Varianten einer Altbau- sanierung könnten untersucht werden. Und da jedes Modul an einem eigenen Versorgungsstrang hängt, lassen sich Wärme flüsse,

Kältebedarf im Sommer, Strom- und Wasserverbrauch aufzeichnen und exakt vergleichen. Auch internationale Forschungsprojekte sollten sich so gewinnen lassen, denn: Ein derartiges «Gebäudelabor» gibt es derzeit nirgendwo; NEST wird weltweit einzigartig sein. Noch existiert das wohl ehrgeizigste Bauforschungsprojekt der Schweiz nur auf dem Papier. Zurzeit laufen die Detailplanungen, um die Bauausschreibung für das Rückgrat vorzubereiten, die – wenn alles glatt läuft – Mitte 2013 erfolgen soll. Gleichzeitig läuft die Suche nach Industriepartnern im In- und Ausland, die bei der ersten Versuchsbelegung von NEST mit dabei sein wollen.

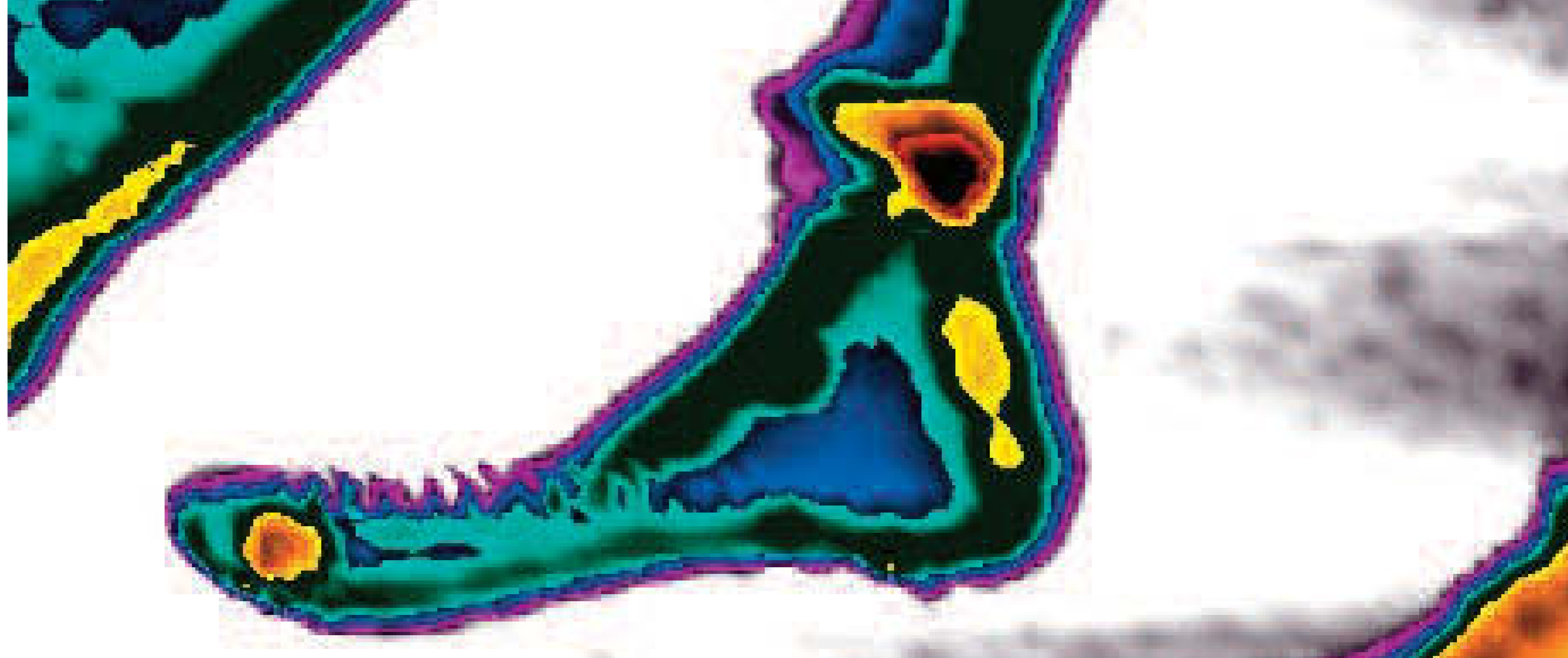


Grundriss von NEST: Jede Plattform bietet mehr als 600 Quadratmeter Nutzfläche für Experimente. Treppenhaus, Lift und Versorgungsschächte sind im Inneren untergebracht.

NEST in verschiedenen Ausbaustufen:
Die Forschungsmodule können unabhängig voneinander montiert und entfernt werden.

Research Focus Areas

Wo liegen die grossen Herausforderungen unserer Zeit? Zweifellos in den Bereichen Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen, Umwelt und Klima, bei den zur Neige gehenden Rohstoffen, in einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung und bei der Erneuerung unserer Infrastruktur. In ihren «Research Focus Areas» – Gesundheit und Leistungsfähigkeit, Natürliche Ressourcen und Schadstoffe, Energietechnologien, Sustainable Built Environment, Nanostrukturierte Materialien – bündelt die Empa das interdisziplinäre Know-how ihrer 29 Forschungs-labors und erarbeitet dadurch praxisnahe Lösungen für Industrie und Gesellschaft.



Innovative Materialien für eine gesunde Zukunft

Der Einfluss des Menschen auf seine Umwelt und auf sich selbst nimmt immer grössere Ausmasse an. Klimaerwärmung und Ozonbelastung etwa sind zwei der gravierenden Folgen, doch auch die steigende Lebenserwartung ist eine Konsequenz. Daher entwickelt die Empa im Forschungsschwerpunkt «Gesundheit und Leistungsfähigkeit» Lösungen für die Umweltprobleme und den Gesundheitsbereich: innovative Materialien und Technologien, die dazu beitragen, eine hohe Lebensqualität und gute physische Konstitution lange zu erhalten.



Modellierung von Körperfunktionen

Immer mehr Menschen sind im Beruf, aber auch in ihrer Freizeit extremen äusseren Situationen ausgesetzt. Nicht nur Extremsport Treibende erwarten von ihrer Bekleidung, dass diese «funktionell» ist; besonders Feuerwehrleute, Polizei- und Rettungsmannschaften brauchen Textilien, die gleichzeitig Schutz – wie gegen Feuer oder Projektile (s. S. 46) – und Komfort bieten, etwa durch geringes Gewicht oder ein fortschrittliches Feuchte- und Temperaturmanagement. Die Empa entwickelt dazu hochmoderne physiologische Messsysteme und verschiedene sensorbestückte «Manikins» – weltweit einzigartige Modelle vom menschlichen Körper.

Der Einfluss des Menschen auf seine Umwelt und auf sich selbst nimmt immer grössere Ausmasse an. Klimaerwärmung und Ozonbelastung etwa sind zwei der gravierenden Folgen, doch auch die steigende Lebenserwartung ist eine Konsequenz. Daher entwickelt die Empa im Forschungsschwerpunkt «Gesundheit und Leistungsfähigkeit» Lösungen für die Umweltprobleme und den Gesundheitsbereich: innovative Materialien und Technologien, die dazu beitragen, eine hohe Lebensqualität und gute physische Konstitution lange zu erhalten.

Modellkörper, auch «Manikins» genannt, werden eingesetzt, um etwa Feuchtigkeits- und Wärmetransport durch Textilien hindurch zu untersuchen.

Textilien und Fasern mit Funktionen «ausrüsten»

Was wir auf unserer Haut tragen, muss verschiedene Funktionen wahrnehmen. Dafür werden Textilien häufig mit unterschiedlichen Polymer- und Kompositmembranen ausgestattet, Fasern als Kompositfasern hergestellt und bestimmte Eigenschaften durch Einbringen neuer Strukturen mit Nanopartikeln erzielt. So arbeitet die Empa an einer gesteuerten Medikamentenabgabe aus Textilien oder an Licht und elektrisch leitenden Fasern, die zu Therapie und Funktionsüberwachung des Körpers genutzt werden können.

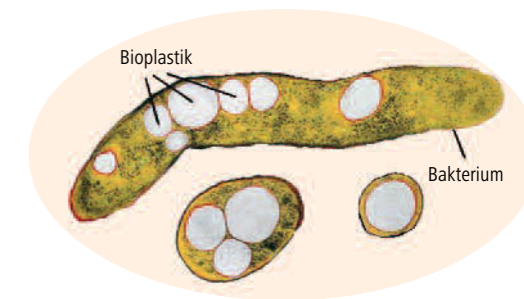
Neue Eigenschaften lassen sich in Fasern und Textilien auch erzielen, indem sie mit Additiven versehen werden, etwa flammhemmende Substanzen für Bekleidungs- und Heimtextilien. Die Empa hat völlig neue, umweltschonende Flammhemmer entwickelt, die sich für Polymere, aber auch für andere Materialien eignen. Diese Flammenschutzmittel auf Phosphor-Silicium-Stickstoff-Basis sollen künftig Substanzen ersetzen, die unsere Umwelt erheblich belasten.



Umweltschonende Flammenschutzmittel: weltweit gesucht, an der Empa entwickelt.

Biokatalyse – Paradebeispiel für GreenTech

Im Rahmen des Schweizer Masterplans Cleantech werden unter anderem biologische Verfahren von Bedeutung sein, die Syntheseprozesse vereinfachen, weniger Energie benötigen und ohne giftige Lösungsmittel auskommen. Die Empa verfolgt dabei die optimierte Nutzung und Weiterentwicklung der Biokatalyse, also den Einsatz von Enzymen für gewünschte chemische Reaktionen. Die Biokatalyse ist eine «grüne» Technologie, da die Enzyme aus nachwachsenden Rohstoffen – meist aus Bakterien oder anderen Einzellern – gewonnen werden und selbst bioabbaubar sind. Auch lassen sich diese «Synthesewerkzeuge» im Labor durch «protein engineering» optimieren. Die Vorteile liegen auf der Hand: Was Chemiker nur mit hohem (Material- und Energie-)Aufwand erzielen können, erledigen Enzyme bei Raumtemperatur, ohne Lösungsmittel, oft mit höherer Ausbeute – ohne allzu viele Nebenprodukte als «Verunreinigung» mitzuliefern. Die Empa nutzt die Biokatalyse zum Beispiel, um die Wertschöpfung in der Holzverarbeitung zu steigern.



Bakterien und andere biologische Systeme können grosse Mengen bestimmter Polymere, so genannte Biopolymere, erzeugen.

Neue Bautechnologien dank praxisnaher Forschung

Die Bedeutung der gebauten Umwelt für unsere gesellschaftliche Entwicklung hat sich durch die Energiediskussion nach der Erdbebenkatastrophe von Japan weiter akzentuiert. Leistungsfähigkeit, Effizienz und Sicherheit sind die Schlüsselbegriffe, an denen sich die Qualität der gebauten Umwelt messen lässt. Der Forschungsschwerpunkt «Sustainable Built Environment» behandelt diese Themen interdisziplinär an der Schnittstelle zwischen naturwissenschaftlicher Forschung und Ingenieurwesen.

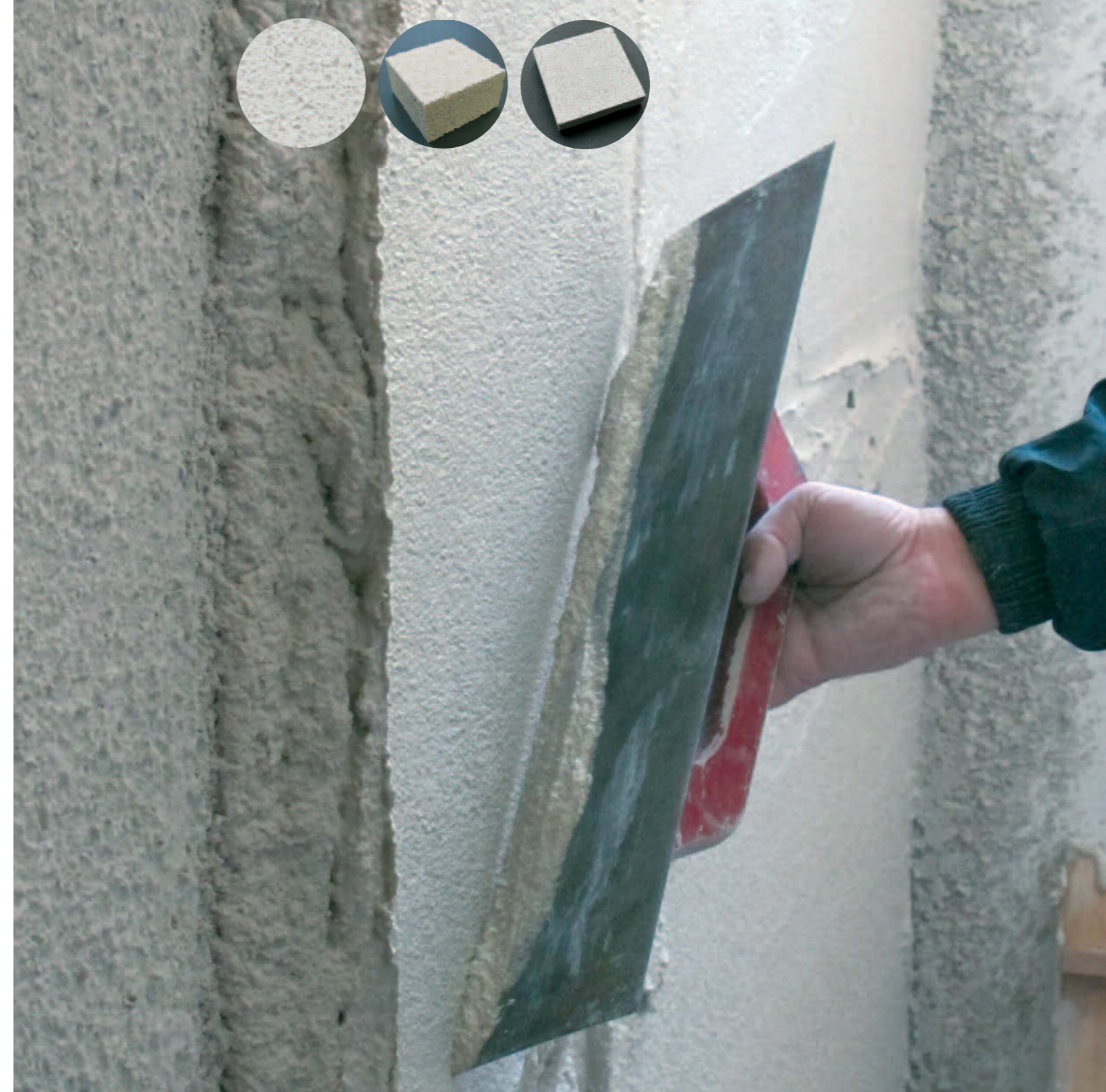
Die zukünftige Entwicklung des «Bauwerks Schweiz» und anderer industrialisierter Länder steht vor verschiedenen Herausforderungen. So geht es etwa darum,

- den bestehenden Gebäudebestand umzugestalten und zu optimieren, um den Energiebedarf und die damit gekoppelten Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren,
- bestehende Gebäude baulich aufzuwerten, damit sie den heutigen und künftigen Bedürfnissen, etwa bezüglich Komfort und Raumaufteilung, genügen sowie
- die Infrastruktur für Mobilität, Energie- und Wasserversorgung durch Erneuerung zu erhalten.

Luft isoliert – auch historische Bauten

Die Empa hat zusammen mit Industriepartnern einen neuartigen Aerogel-Dämmputz entwickelt, der für die nachträgliche thermische Isolation von traditionellen Gebäuden grosses Potenzial aufweist. Bei diesen Gebäuden muss das Erscheinungsbild der Fassade häufig erhalten bleiben; eine zusätzliche aussen liegende Wärmedämmung kommt deshalb nicht in Frage. Dagegen liesse sich der bestehende Verputz durch den Aerogel-Putz ersetzen, der

Nanomaterialien machen es möglich: Aerogel-Dämmputz, dessen Wärmeleitfähigkeit von weniger als 30 mW/(m K) tiefer liegt als jene von konventionellen Isolationsmaterialien. Der mit nanoporösem Aerogel-Granulat angereicherte Verputz wird spritzappliziert und dann bearbeitet.



Kontakt:
Dr. Peter Richner
peter.richner@empa.ch

eine deutlich niedrigere Wärmeleitfähigkeit als konventionelle Isolationsmaterialien aufweist. Ausserdem ist er dampfdiffusionsoffen, also atmungsaktiv, sowie rein mineralisch und daher auch auf der Rauminnenseite einsetzbar (s. S. 88).

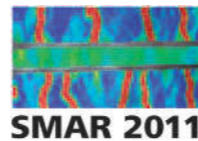
Schall schluckend und lichtdurchlässig

Ausschlaggebende Faktoren für unser Wohlbefinden in Wohn- und Arbeitsräumen sind neben der architektonischen Gestaltung auch Luftqualität, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit,

Beleuchtung und Akustik. Gerade die beiden letzten Punkte dürfen nicht vernachlässigt werden. Tageslicht ist essenziell für unseren Stoffwechsel, und Räume mit grossen Nachhallzeiten erschweren die Unterhaltung stark, sobald mehrere Personen miteinander zu sprechen versuchen. In einem interdisziplinären Projekt gelang es durch geschicktes Kombinieren von Computersimulationen mit textilem Fachwissen und akustischen Messungen, Schall absorbierende Vorhänge zu entwickeln, die zudem lichtdurchlässig sind (s. S. 28).

Konferenz am Persischen Golf

Die Empa hat eine langjährige Tradition auf dem Gebiet der Überwachung und Verstärkung bestehender Bauwerke und genießt international auf diesem Gebiet einen hervorragenden Ruf. So organisierte sie in Zusammenarbeit mit der «American University in Dubai» (AUD) die SMAR 2011 (First Middle East Conference on Smart Monitoring, Assessment and Rehabilitation of Civil Structures) mit rund 300 Gästen aus 30 Ländern (s. S. 94). Bereits läuft die Planung für die Folgeveranstaltung in Istanbul.



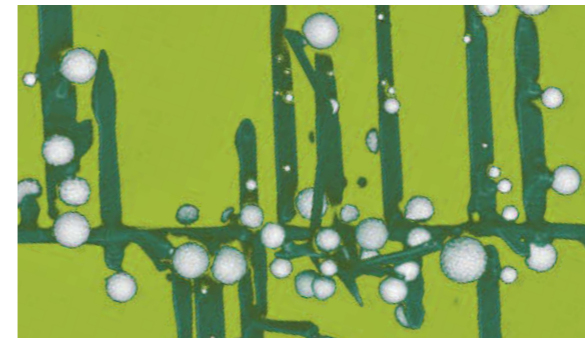
Ein Sitzungszimmer der Empa wurde bereits mit dem neu entwickelten, Schall schluckenden Vorhang ausgestattet.

Forschungsschwerpunkt «Nanostrukturierte Materialien»

«Grenzerfahrungen» nanoskaliger Natur

Die gezielte und kontrollierte Nutzung nanoskaliger Effekte und Phänomene ist heutzutage Basis für die Entwicklung von Materialien, Beschichtungen und Oberflächen mit verbesserten, massgeschneiderten oder neuartigen Eigenschaften. Die Erfolgsfaktoren hierfür sind

wissenschaftliche Exzellenz in Physik und Chemie, um das Geschehen auf atomarer und molekularer Ebene zu verstehen und zu beherrschen, gepaart mit Ingenieurkunst, um die gewünschten Werkstoffe mit den nötigen Fertigungsprozessen zu schaffen. Im Forschungsschwerpunkt «Nanostrukturierte Materialien» bündelt die Empa ihre Kompetenzen und stärkt damit ihre Innovationskraft bei der Entwicklung neuer Materialien und Technologien.



Die Grenzen erforschen

Die Erschliessung der Nanoskala bedeutet für die Materialforschung und -entwicklung den Vorstoss an die absoluten technologisch-physikalischen Grenzen. Diese zu ergründen führt zu Erkenntnissen und

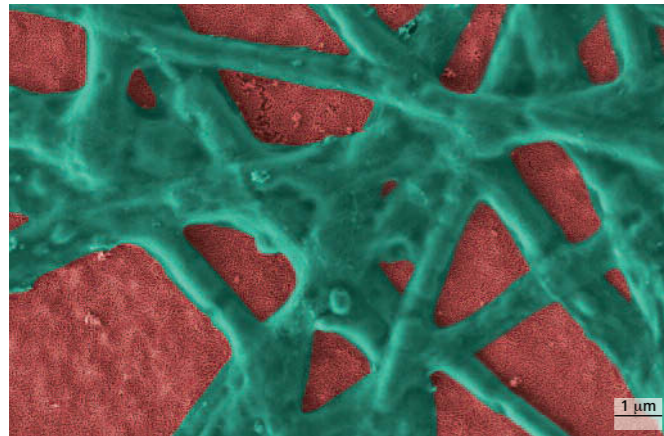
Erfahrungen, die für ein erfolgreiches Entwickeln von nanotechnologischen Materialien und Technologien unerlässlich sind. Das kleinste «Elektromobil» der Welt, ein Molekül, das sich über Elektroneninjektion in Bewegung versetzen lässt (s. S. 12), oder die erste vollständige 3D-Rekonstruktion des atomaren Aufbaus eines Nanopartikels mit der Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) (s. S. 15), sind derartige «Grenzerfahrungen», mit denen Empa-WissenschaftlerInnen im vergangenen Jahr weltweit grosse Aufmerksamkeit erzielten.

Bei der Herstellung von Aluminiumoxid-Verbundwerkstoffen durch Schmelzinfiltation wachsen Keramikfasern, an denen sich Golfball-ähnliche Tropfen des Katalysatormetalls bilden.

Kontakt:
Dr. Pierangelo Gröning
pierangelo.groening@empa.ch

Anwendungen im Visier

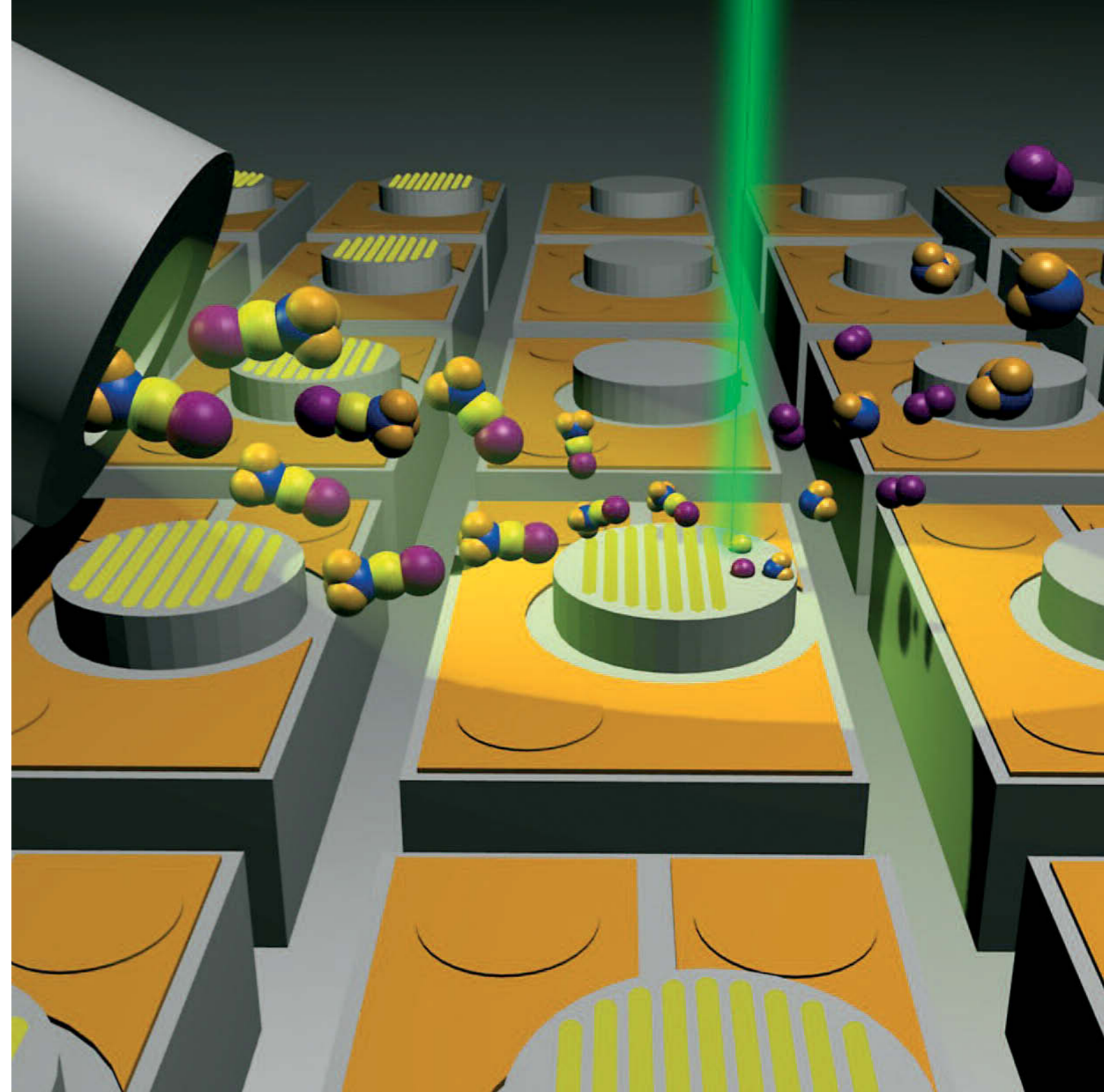
Die schnelle Umsetzung der gewonnenen Kompetenzen und Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in anwendungsorientierte Projekte ist eine der Stärken der Empa. So haben Forschende der Empa mit Kollegen an der EPF Lausanne die Methode des «Focused Electron Beam Induced Processing» (FEBIP) genutzt, um feine Polarisationsgitter auf die Oberfläche von Halbleiterlasern (VCSEL von engl. «Vertical Cavity Surface Emitting Laser») abzuscheiden. Diese Gitter verbessern die Stabilität der Polarisation des Laserlichts, was bisher eine Schwäche dieser häufig für die Datenübertragung eingesetzten Laser war.



Oberflächenfilm aus Hämatit-Nanopartikeln (rot) mit vernetztem Phycocyaninprotein (grün).
(E. Vitol, Argonne National Laboratory)

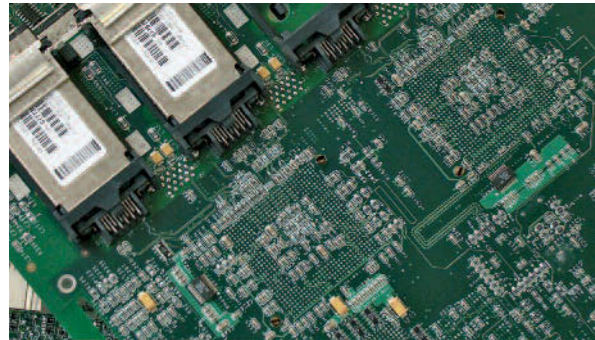
Eine andere viel versprechende Anwendung von Nanomaterialien sind Elektroden für photoelektrochemische Zellen (PEC). In diesen wird Wasser direkt mit Solarenergie elektrochemisch gespalten und Wasserstoff erzeugt. Im Team mit KollegInnen von der Universität Basel und dem US-amerikanischen «Argonne National Laboratory» konnten die Empa-Fachleute eine vollkommen neuartige «Nano-Bio»-Elektrode entwickeln mit doppelt so hoher Effizienz gegenüber bisherigen Eisenoxidelektroden. Die neue Elektrode besteht aus Eisenoxid-Nanopartikeln (Hämatit, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), die mit einer Proteinschicht aus Phycocyanin funktionalisiert sind, einem Eiweiss aus Blaualgen, das Sonnenlicht für die Photosynthese der Zellen effizient einfangen kann. Diese Elektroden erwiesen sich auch unter harschen alkalischen Betriebsbedingungen als äusserst stabil.

Prinzip der Elektronenstrahl-induzierten lokalen Abscheidung zur Herstellung von Polarisationsgittern auf Halbleiterlasern: Im hochfokussierten Elektronenstrahl werden die zugeführten metallorganischen Gasmoleküle zersetzt, worauf die entstehenden nichtflüchtigen Verbindungen sich auf der Oberfläche abscheiden.



Metalle, Motoren, Messtechnik – im Fadenkreuz für die Umwelt

Der Forschungsschwerpunkt «Natürliche Ressourcen und Schadstoffe» leistet Beiträge zu den umweltrelevanten Zielen, sowohl den Ressourcenverbrauch als auch den Schadstoffausstoss unserer Gesellschaft zu senken. Grundsätzlich geht es darum, die Material- und Energieeffizienz technischer Prozesse zu erhöhen, kritische Rohstoffe zu ersetzen und Abluft und Abwasser zu reinigen.



Je seltener die Metalle, desto wichtiger das Recycling

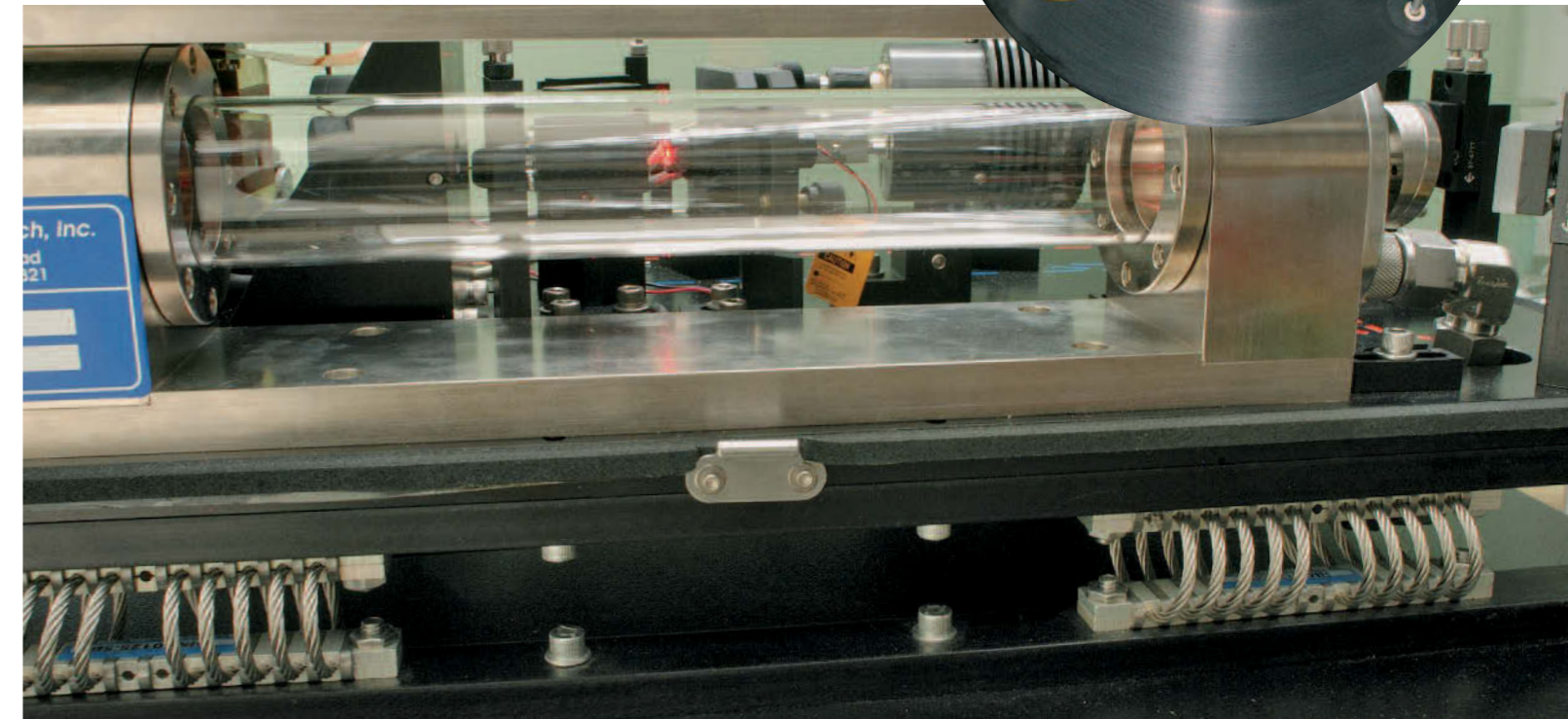
Metallurgische Reaktoren spielen eine wichtige Rolle bei der Primär- und Sekundärproduktion von seltenen Metallen und damit auch bei der Schliessung von Ressourcenkreisläufen. Die Firma Umicore Precious Metals Refining (UPMR) betreibt im belgischen Hoboken eine der weltweit grössten Anlagen zur Rückgewinnung von seltenen Metallen unter anderem aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten. In einem Kooperationsprojekt mit der Empa wurden die damit einhergehenden Um-

weltauswirkungen quantifiziert sowie wichtige methodische Fragen im Zusammenhang mit der Modellierung komplexer, vernetzter Metallflüsse in einer Metallraffinerie geklärt.

Effiziente Fahrzeugmotoren

Die Effizienz von Benzin- oder Gasmotoren fällt bei der im normalen Fahrbetrieb oft benötigten tiefen Motorlast stark ab. Dies unter anderem deshalb, weil die Lastregelung dieser

Seltene Metalle werden unter anderem aus Elektro- und Elektronik-Altgeräten rückgewonnen.



Das N_2O wird bei tiefen Temperaturen (-160 Grad Celsius) adsorbiert und angereichert (rundes Bild), so dass anschliessend in einem Laserspektrometer die einzelnen Isotope gemessen werden können.

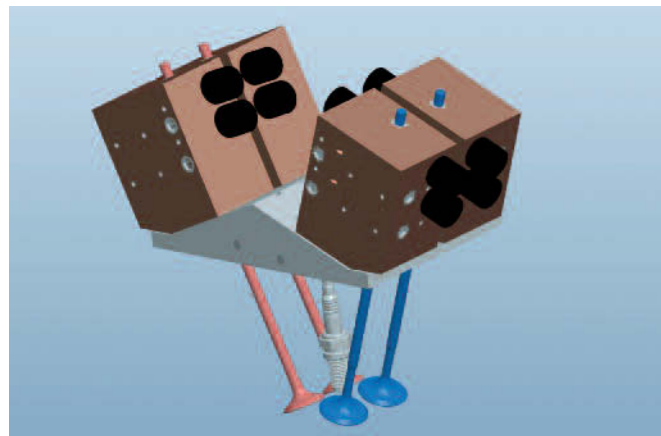
Neue Energiepolitik – intelligente Ansätze sind gefragt

Motoren mit einer Drosselklappe erfolgt, die die zugeführte Menge der Luft steuert. Diese Drosselung verursacht grossen Energieaufwand im Gaswechsel. Die Empa entwickelt derzeit eine neue elektrohydraulische Ventilsteuerung, die die volle Variabilität der Ventile ermöglicht und doch nicht mehr Energieaufwand benötigt als ein herkömmlicher mechanischer Ventiltrieb. Dies lässt sich erreichen, indem die kinetische Energie des Ventils während des Abbremsvorgangs hydraulisch zurückgewonnen wird. Damit kann die motorische Last statt durch Drosselung durch ein zylinderspezifisches Schliessen der Ventile geregelt werden.

Tiefere Treibhausgasemissionen dank neuartiger Messtechnik

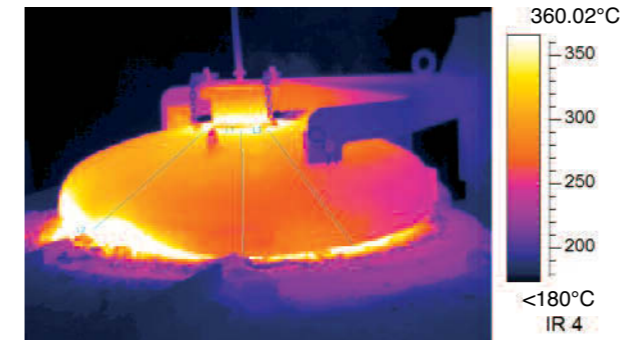
Die erfolgreiche Kopplung von automatisierter Aufkonzentrierung von Spurengasen aus atmosphärischen Proben mit der Quantenkaskadenlaser-Spektrometrie ermöglichte die weltweit erste quasikontinuierliche Messung der verschiedenen N_2O -Isotope in der Aussenluft. Eine Quelle für das Treibhausgas N_2O in der Atmosphäre sind zum Beispiel mikrobielle Prozesse in Kläranlagen. Dabei entstehen über unterschiedliche Bildungswege verschiedene Isotopenmuster – also gewissermassen eine molekulare Signatur – im gebildeten N_2O . In einem gemeinsam mit dem Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs Eawag durchgeführten Projekt wird mit Hilfe dieser Messtechnik die Prozessführung der Nitrifikation und Denitrifikation bei der Abwasserreinigung so optimiert, dass tiefere Treibhausgasemissionen auftreten.

Im Bereich der **Abluftreinigung** nahm die Empa 2011 zwei neue Forschungseinrichtungen in Betrieb: einen Windkanal, mit dem das Verhalten und die Abreinigung von Nanopartikeln untersucht werden kann (s. S. 18), sowie ein Strömungslabor, in dem sich Zweiphasenströmungen bis zu Temperaturen von 500 Grad Celsius untersuchen lassen (s. S. 40).



Die Empa entwickelt eine besonders sparsame elektrohydraulische Ventilsteuerung, die die kinetische Energie der Ventile zurückgewinnt und in Druckspeichern «zwischenlagert». Durch die voll variable Ventilsteuerung kann auf eine Drosselklappe im Motor verzichtet werden. Das spart Treibstoff.

Die neue Energiepolitik der Schweiz mit dem schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie erfordert neue Konzepte für den Mobilitäts- und auch den Gebäudebereich, zwei Schwerpunkte der Empa-Energieforschung. Dazu leisten neue Materialien und innovative Technologien einen wesentlichen Beitrag.



Von (Ab-)Wärme zu Strom – thermoelektrische Generatoren

Die Empa entwickelt stabile und umweltverträgliche thermoelektrische Materialien, die auf allgemein verfügbaren – und daher kostengünstigen – Rohstoffen auf der Basis von Zink-, Titan- und Manganoxiden beruhen. Diese werden als leistungsfähige Hochtemperaturkonverter in laufenden Projekten etwa für die Rekuperation von Abwärme in Industrieprozessen, Autos und solarthermischen Umwandlern eingesetzt.

Neuer Effizienzrekord bei Solarzellen

Das Empa-Labor «Dünnschicht- und Photovoltaik» ist spezialisiert auf die Entwicklung hocheffizienter und dabei erst noch kostengünstiger Dünnschicht-Solarzellen. Dem Team gelang es, Prozesse bei niedrigen Depositionstemperaturen (also unter 450 Grad Celsius) für hocheffiziente CdTe-Solarzellen zu entwickeln und zu optimieren. Auf Glas als Trägersubstrat wurde eine Effizienz von 15.6 Prozent, auf flexiblen Polymerfolien ein Rekordwert von 13.8 Prozent erreicht. Zudem wurde auch bei flexiblen Solar-

Demonstrationsprojekt für die Verstromung von Abwärme bei vonRoll casting: Wie in Verbrennungsmotoren gehen auch in Giessereien mehr als $\frac{2}{3}$ der Energie als Abwärme verloren. Diese will man in einem vom Bundesamt für Energie (BfE) unterstützten Projekt rekuperieren, also (zumindest teilweise) zurückgewinnen und direkt verstromen. Dazu werden auf dem Deckel der Metallschmelzkessel und anderen heissen Oberflächen thermoelektrische Konverter installiert, zum Beispiel entlang der Linien.

Kontakt:
Dr. Xaver Edelmann
xaver.edelmann@empa.ch

zellen aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (kurz CIGS) die Effizienz auf den Rekordwert von 18.7 Prozent verbessert (s. S. 31).

Synthetische Brennstoffe «aus der Sonne»

Die Hydrierung von CO₂ an Metallhydriden ist Teil eines Forschungsvorhabens, das von der Empa koordiniert wird und an dem unter anderem das PSI, die EPF Lausanne und die amerikanische Stanford University beteiligt sind. Das Forscherteam sucht nach neuen – effizienteren – Methoden, um aus erneuerbaren Energien und dem Treibhausgas CO₂ einen synthetischen Treibstoff («Synfuel») herzustellen, der sich in herkömmlichen Motoren und Flugzeugtriebwerken verwenden lässt (s. S. 37). Ausserdem sind Forschungsarbeiten zur direkten photoelektrokatalytischen solaren Wasserspaltung angelaufen.



Gebundenes Kohlendioxid, CO₂, und Wasserstoff, H₂, als dereinst «komfortabel» gespeicherter Treibstoff.

Weniger Umweltbelastung durch Elektro-Zweiräder

E-Mobility ist als umweltfreundliche Alternative in aller Munde. Dabei lohnt es sich, genau hinzuschauen. Lebenszyklusanalysen (LCA) der Empa zeigen eine im Vergleich zu benzinbetriebenen Motorrädern geringere Umweltbelastung durch elektrische Motorräder – so genannte E-Scooter –, allerdings nur, wenn diese mit Schweizer Strom betrieben werden. Dies gilt sowohl bezüglich des Treibhausgasausstosses als auch bezüglich der Gesamtumweltbelastung (gemessen nach verschiedenen Bewertungssystemen). In diesem Fall macht sich der Aufwand für zusätzliche elektronische und elektrische Komponenten bezahlt, die neben Kupfer und Stahl auch seltene und als kritisch geltende Metalle wie Lithium und Neodym enthalten. Im Gegensatz dazu wird der Mehraufwand an Materialien bei den derzeit boomenden Elektro-Fahrrädern (E-Bikes) nicht durch eine tiefere Umweltbelastung in der Betriebsphase kompensiert.

Lebenszyklusanalysen (LCA) der Empa zeigen, dass batteriebetriebene E-Scooter die Umwelt weniger belasten als mit Benzin betriebene, vorausgesetzt, Schweizer Strom kommt zum Einsatz.



Von der Forschung zur Innovation – die Empa als Partnerin

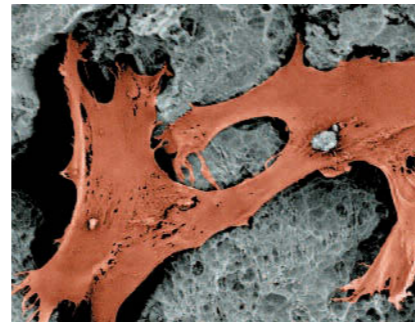
Anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung mit grösstmöglicher Nähe zu Industrie und Wirtschaft ist das Markenzeichen der Empa. Durch effiziente und individuelle Formen der Zusammenarbeit sowie ein breites Spektrum an Dienstleistungen ist die Empa in der Lage, ihren Partnern auf deren Bedürfnisse massgeschneiderte Lösungen anzubieten. Sei es, um neue Produkte zu entwickeln, bestehende Technologien zu optimieren, konkrete Probleme zu lösen oder aber technisches Fachpersonal auf den neuesten Stand des Wissens zu bringen, die Empa ist mit ihren über 800 hochqualifizierten WissenschaftlerInnen sowie erstklassiger technischer Infrastruktur die richtige Adresse.



Anwendungsorientierte Forschung Innovative Entwicklungen Wissens- & Technologietransfer Dienstleistungen & Expertisen Aus- & Weiterbildung

Innovationen – Erfolgsfaktoren für wirtschaftliches Wachstum

Die Entwicklung von Innovationen ist ein dynamischer, iterativer und interaktiver Prozess. Die Empa pflegt deshalb einen intensiven Austausch mit ihren Wirtschaftspartnern über neue wissenschaftliche Erkenntnisse und setzt dadurch wichtige Impulse für gemeinsame Forschungsprojekte. Ziel ist, die drängenden Probleme gemeinsam anzugehen und die Basis für Innovationen zu schaffen, mit denen die Wirtschaft neue Märkte erschliessen kann.



KTI-Sondermassnahmen zur Frankenstärke

Forschungsergebnisse möglichst rasch in marktfähige Innovationen umzusetzen, ist seit je das Ziel der Empa. Und Innovationen sind auch der Schlüssel zum nachhaltigen Erfolg für die Schweizer Industrie, vor allem im Export. Als das Schweizer Parlament im Oktober flankierende Massnahmen gegen den «Starken Franken» beschloss, hat die Empa sofort aktiv mitgewirkt. Sie informierte ihre Industriepartner durch verschiedene Veranstaltungen und ein spezielles Informationsblatt, dass rasche und kurzfristige Formen

der Zusammenarbeit zu ihrem unmittelbaren Nutzen implementiert werden können. Innerhalb von zwei Monaten konnten so mehr als 100 Projekte an die KTI eingereicht werden. 27 wurden von ihr bewilligt und mit insgesamt mehr als 12 Millionen Franken unterstützt.

Bei der Implantatentwicklung arbeiten die Empa und das Kantonsspital St. Gallen verstärkt zusammen: Knochenzellen haften auf einer Implantatoberfläche. Die Knochenvorläuferzellen (Stammzellen) für den *In-vitro*-Test wurden aus menschlichem Knochenmark isoliert.

Medizin trifft Materialforschung

Die Empa und das Kantonsspital St. Gallen haben in verschiedenen Forschungsgebieten der medizin(techn)ischen Materialentwicklung die Zusammenarbeit verstärkt. Zur bisherigen Kooperation im Bereich der humanen Stammzellen kamen im vergan-

genen Jahr aktuelle Forschungsthemen wie Nanosicherheit, Immunologie und Implantatentwicklung hinzu. Dies ergänzt bestehende Kooperationen, die die Empa auf diesen Gebieten mit anderen Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Medizintechnikunternehmen unterhält.



Einweihung des IBM-Nanotechnologiezentrums in Rüschlikon, an dem auch die Empa als «Juniorpartnerin» forschen wird, mit zwei Ehrengästen: Nobelpreisträger und Namensgeber Heinrich Rohrer (3. v. l.) und Bundesrat Didier Burkhalter (4. v. l.). (© IBM Research Zürich)

Juniorpartnerin am neuen IBM-ETH-Nanozentrum

Im Mai wurde das neue «Binnig and Rohrer Nanotechnology Center» auf dem Gelände des IBM-Forschungslabors in Rüschlikon eröffnet – also an dem Ort, wo die beiden namensgebenden Forscher vor 30 Jahren das Rastertunnelmikroskop entwickelten und somit die Nano-Ära einläuteten. Das Zentrum, das rund 90 Millionen Franken kostete und von der IBM und der ETH Zürich gemeinsam geführt wird, ist ein weiterer Meilenstein für den Nanotechnologie-Standort Schweiz. Als «Juniorpartnerin» wird auch die Empa dort forschen. Insgesamt stehen dafür an die 1000 Quadratmeter Reinraum sowie sechs sogenannte geräuschfreie Labors zur Verfügung.

Empa-Innovationen drängen auf den Markt

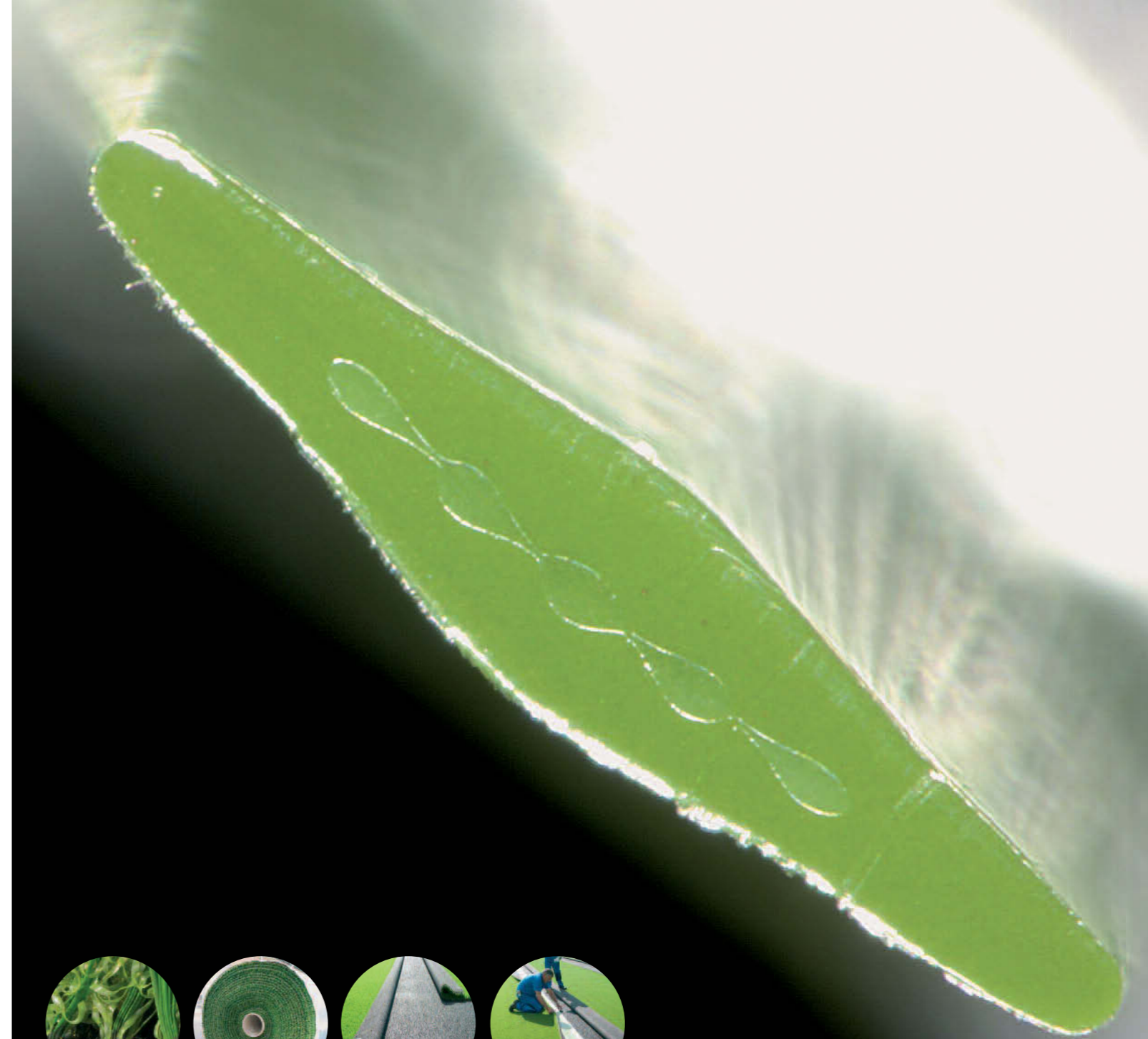
Die Technologietransferstelle der Empa ist ein wichtiges Bindeglied zwischen den Forschungsabteilungen und ihren externen Partnern. Sie beantwortet rechtliche Fragen rund um die Zusammenarbeit mit der Industrie, den Hochschulen und der öffentlichen Hand, erarbeitet und verhandelt gemeinsam mit den Empa-Forschenden die nötigen Verträge und kümmert sich um Schutz und Verwertung des geistigen Eigentums.

Trotz Wirtschaftskrise stieg die Zahl der Forschungskooperationen mit privaten und öffentlichen Partnern 2011 erstmals auf über 100 neue Projekte. Zudem wurden 12 neue Patente angemeldet. Im Bereich der wirtschaftlichen Umsetzung von Forschungsergebnissen konnten 15 neue Lizenz- und Technologietransferverträge vereinbart werden.

Neuer Kunstrasen mit Stehauf-Qualität

Kunstrasen ist eine günstige und praktische Alternative zu Naturrasen. Die ersten Generationen führten aufgrund ihrer widerstandsfähigen Fasern häufig zu Verbrennungen und Schürfungen oder zeigten in der Praxis Mängel im Rückstellvermögen. Forschende der Empa und der ETH Zürich haben zusammen mit dem Schweizer Kunstrasenhersteller TISCA TIARA und dem deutschen Faserhersteller Schramm im von der KTI finanzierten Projekt eine neuartige Faser für Kunstrasen entwickelt, die ein gutes Rückstellvermögen und ein optimales Gleitreibungsverhalten aufweist. Die mit einem optimierten Querschnitt versehenen «Kunsthalm» werden als Bikomponentenfaser gesponnen und zu einem Kunstrasenteppich verarbeitet, der bereits auf verschiedenen Fussballplätzen im Einsatz ist.

Querschnittsgeometrie der Kunstrasenfaser:
Im Innern enthält sie fünf dünne Polyamidkerne,
ausser besteht sie aus Polyethylen.



Kontakt:
Marlen Müller
marlen.mueller@empa.ch

Hochleistungsdämmputz für historische Gebäude

Historische Bauten bei einer Renovation wirkungsvoll, aber dennoch «elegant» zu dämmen, stellt Sanierer häufig vor Probleme. Forschende der Empa haben in einem KTI-finanzierten Projekt zusammen mit zwei führenden Putzherstellern einen neuen Dämmputz entwickelt, der sowohl für Innen- als auch für Aussenrenovationen geeignet ist. Das «Geheimnis» des neuartigen Dämmputzes ist ein Aerogel. Winzige Luftporen im Aerogel sorgen dafür, dass das neue Isolationsmaterial eine zwei- bis dreimal niedrigere Wärmeleitfähigkeit hat als übliche Wärmedämmputze. Ein weiterer Vorteil besteht in der Fähigkeit, gleichzeitig wasser-

dampfdurchlässig und wasserabweisend zu sein. Der Hochleistungsdämmputz wird bereits in Feldversuchen getestet und soll 2013 auf den Markt kommen.

Bioabbaubare Flipflops

Der weltweite Erfolg von Flipflops ist beeindruckend: Als Massenprodukt werden sie überall auf der Welt getragen, in Ländern des Nordens ebenso wie des Südens, auf allen Kontinenten. Jedoch führen die Flipflops als Massenkonsumprodukt zu ernsthaften Entsorgungsproblemen. Zusammen mit der Firma Bioapply Sarl in Gland (VD) und mit finanzieller Unterstützung der KTI haben Empa-Forschende eine Materialrezeptur entwickelt und zum Patent angemeldet. Die aus bioabbaubaren Polymeren bestehenden Flipflops erfüllen die Kompostierungsnormen der EU. Sie werden derzeit im Hinblick auf eine Markteinführung evaluiert.



Mit Aerogel-Dämmputzen historische Gebäude elegant sanieren. Die Aerogele bestehen zu 90 Prozent aus Luft, die in Poren von Nanometergrösse eingeschlossen ist.

Technologiezentren

Start-ups im glaTec unter den besten der Schweiz

100 Expertinnen und Experten haben 2011 im Auftrag des Instituts für Jungunternehmen in St. Gallen den glaTec-Start-up Optotune zum besten Schweizer Jungunternehmen des Jahres gewählt. Auch die glaTec-Firmen QualySense (Platz 26) und Compliant Concept (Platz 73) schafften es in die Top 100. Ein stolzes Ergebnis

für das Technologiezentrum der Empa in Dübendorf, in dem sich seit seiner Gründung 2009 sechs Jungunternehmen einmieten konnten. Der erste Mieter, Optotune, hat im Sommer 2011 den Business-Inkubator «planmässig» wieder verlassen, um die Produktion seiner neuartigen optischen Linsen an einem neuen Standort hochzufahren.

Start-ups, die das stringente Selektionsverfahren erfolgreich durchlaufen, können bis zu drei Jahre im glaTec bleiben. Sie profitieren in dieser Zeit vom vorteilhaften Mietzins und der erstklassigen Infrastruktur der Empa. Danach sollten die Firmen über genügend Eigen- oder Fremdkapital verfügen, um sich anderswo niederzulassen – und Platz für Neues zu machen.

Spin-offs der Empa, aber auch andere Hightech-Start-ups mit so klingenden Namen wie Decentlab, Compliant Concept, QualySense, Monolitix,

Optotune und Micos Engineering entwickelten in den letzten Jahren ganz unterschiedliche Produkte und Verfahren, etwa optische Instrumente für die Raumfahrt, ein Messsystem zur drahtlosen Überwachung von Bauwerken, ein intelligentes Bettssystem für Bettlägerige, ein Verfahren, das Getreide tonnenweise analysiert und sortiert, nachgiebige Komponenten für den Maschinenbau und stufenlos fokussierbare optische Linsen.



Optotune, der erste Start-up im Empa-Technologiezentrum «glaTec» in Dübendorf, wurde zum besten Schweizer Jungunternehmen 2011 gewählt. (Ben Huggler)

Kontakt: glaTec
Mario Jenni
mario.jenni@empa.ch

Kontakt: tebo/Startfeld
Peter Frischknecht
peter.frischknecht@empa.ch

Empa-Akademie

In Zeiten des starken Frankens

STARTFELD bringt Jungunternehmen «zum Fliegen»

«Startfeld», die Plattform zur Förderung von Innovationen und Unternehmensgründungen in der Ostschweiz, hat im Frühjahr 2011 ein zweites Standbein errichtet. Die Stiftung STARTFELD vergibt Seed-Money an hervorragende Start-up-Projekte. Hauptstifter mit 5 Millionen Franken ist die St. Galler Kantonalbank. Eine Erhöhung des Stiftungskapitals durch Zustiftungen wird angestrebt. Ein Expertenrat mit Mitgliedern aus Forschung, Technologie und Wirtschaft beurteilt die Anträge der JungunternehmerInnen. Bei positivem Bescheid erhalten sie maximal 300 000 Franken als zinsloses Darlehen. Als erstes Jungunternehmen «für gut befunden» und mit einer Finanzspritze bedacht wurde die Firma Weibel CDS aus dem ausserrhodischen Waldstatt. Das Unternehmen entwickelt und produziert mit Herstellpartnern benutzerfreundliche, anwendungsorientierte pharmazeutische Primärverpackungen und Produkte, mit denen sich injizierbare Medikamente einfacher verabreichen lassen.

Als drittes Standbein strebt «Startfeld» den Bau eines Gebäudes auf dem Gelände der Empa in St. Gallen an nach den Entwürfen der St. Galler Planungsgemeinschaft Eigen GmbH, Architektur und Design. Deren Vorschlag «connect» hat 2011 den Planungswettbewerb gewonnen. Dieses Projekt schaffe nicht nur funktionale Räume für bis zu 70 JungunternehmerInnen, sondern auch einen stimmigen Ort, urteilte die Jury aus Bauexperten und Architekten. Das Projekt präsentiere sich so einfach und prägnant wie ein Hangar.



Die Firma Weibel CDS wurde von der Stiftung STARTFELD mit einer Finanzspritze bedacht. Nomen est Omen: Die Firma entwickelt neuartige Anwendungshilfen für injizierbare Medikamente. (Weibel CDS AG)

Auch die Aktivitäten der Empa-Akademie standen 2011 im Zeichen des starken Frankens. Gut 2500 Fachleute aus Wirtschaft, Verbänden und Behörden nahmen an den 36 Fachveranstaltungen teil, die speziell die Industrie ansprachen und dazu beitragen sollten, die schweizerische Innovationskraft zu stärken. Das entspricht einer Steigerung von gut 50 Prozent gegenüber 2010. Gleichzeitig tauschten sich gut 2200 WissenschaftlerInnen an 11 wissenschaftlichen Tagungen, 10 wissenschaftlichen Kursen und 30 Fachvorträgen über die neuesten Forschungsergebnisse auf ihren Gebieten aus.



«Technology Briefings» stellen Innovationen vor

Die drei «Technology Briefings» wurden von über 250 Fachleuten besucht. Das vom Schweizer Parlament beschlossene Massnahmenpaket gegen den «Starken Franken» war im Herbst das Hauptthema an der Veranstaltung «Smart Textiles». Die exportabhängige Schweizer Textilbranche leidet besonders unter dem hohen Frankenkurs. Ein probates Mittel gegen die günstigere Konkurrenz aus dem Ausland sind innovative Produkte wie Textilien mit eingebauten Sensoren oder Fasern mit Spezialbeschichtungen. Im zweiten Technology Briefing diskutierten die Teilnehmenden über die Zukunftsperspektiven der Brennstoffzellentechnologie. Und Gäste aus Architektur und Bauwirtschaft liessen sich im letzten Briefing der jährlichen Reihe in puncto Leichtbau auf den neuesten Stand bringen. Neben Holz und Rigips ging es auch um andere – teils ungewöhnliche – Materialien, etwa Leichtbau mit Beton oder Luft.

Die drei «Technology Briefings» wurden von über 250 Fachleuten besucht. Das vom Schweizer Parlament beschlossene Massnahmenpaket gegen den «Starken Franken» war im Herbst das Hauptthema an der Veranstaltung «Smart Textiles». Die exportabhängige Schweizer Textilbranche leidet besonders unter dem hohen Frankenkurs. Ein probates Mittel gegen die günstigere Konkurrenz aus dem Ausland sind innovative Produkte wie Textilien mit eingebauten Sensoren oder Fasern mit Spezialbeschichtungen. Im zweiten Technology Briefing diskutierten die Teilnehmenden über die Zukunftsperspektiven der Brennstoffzellentechnologie. Und Gäste aus Architektur und Bauwirtschaft liessen sich im letzten Briefing der jährlichen Reihe in puncto Leichtbau auf den neuesten Stand bringen. Neben Holz und Rigips ging es auch um andere – teils ungewöhnliche – Materialien, etwa Leichtbau mit Beton oder Luft.

Die Veranstaltungen der Empa-Akademie sind stets gut besucht.

Mit globalen Partnerschaften zum Innovationserfolg

Ausgebuchte Fachkurse

Die Fachkurse, die die Empa-Akademie zusammen mit ihren Kooperationspartnern anbietet, erfreuen sich nach wie vor grosser Beliebtheit. Neu ins Programm aufgenommen wurde der Kurs zum Thema «Flottenmanagement ganzheitlich betrachtet», der gemeinsam mit dem SFFV (Schweizerischer Fahrzeugflottenbesitzer Verband) und der Sanu (Bildung für nachhaltige Entwicklung) an der Empa durchgeführt wurde und der neben den technischen Aspekten von Fahrzeugflotten auch die finanziellen sowie strategischen Aspekte beleuchtete. In Zusammenarbeit mit der FSRM (Schweiz. Stiftung für Forschung in der Mikrotechnik) wurden Kurse zu Themen wie «Next generation lithography», «Elektrochemische Charakterisierung und Korrosion» und «Löten» angeboten. Das Interesse war gross und einige der Kurse waren ausgebucht.

Zum Thema «Solarstrom für die Schweiz – eine Zukunftsvision» fand die erste Veranstaltung unter dem Motto «Photovoltaik im Fokus» statt. Gut 200 Fachleute und Interessierte konnten einen Blick in die solare Zukunft werfen. Dabei orientierten Empa-Fachleute über verschiedene Solarzellen-Technologien.

Allein durch Skalierungseffekte und die stetig wachsende Produktion, so das Fazit, seien weitere Preissenkungen bei Solarzellen zu erwarten. Denn die Vergangenheit zeigt: Immer wenn sich die installierte Kapazität verdoppelt, sinkt der Preis für ein Solarmodul um rund 20 Prozent. Auch die Empa-Forschung wird ihren Teil dazu beitragen.

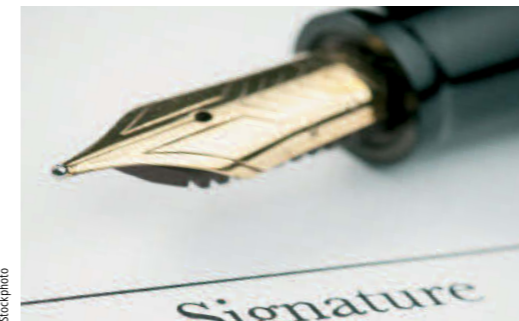


Die von der Empa und der Flisom AG, einem Spin-off der ETH Zürich, entwickelten flexiblen Polymersolarzellen waren auch Thema im Seminar «Photovoltaik im Fokus». (Flisom AG)

Im Zeitalter der Globalisierung müssen sich Forschungs- und Entwicklungsinstitutionen mehr denn je international orientieren, um im weltweiten Wettbewerb erfolgreich zu sein. Denn globale Herausforderungen lassen sich nur in multilateraler Zusammenarbeit mit gemeinsam erarbeiteten wissenschaftlichen Lösungen und den daraus resultierenden Innovationen bewältigen.

Daher baut die Empa ihr internationales Netzwerk stetig weiter aus.

So etwa im Rahmen der schweizerisch-chinesischen Zusammenarbeit im Bereich Klima- und Umweltschutz, die die Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA) koordiniert und in der die Empa ihr Know-how im Kombinieren von Schadstoffmessungen mit Emissionsinventaren und Quellenzuordnungen einbringt. China war im Mai auch das Austragungsländ des «4. World Materials Research Institutes Forum», an dem die Empa als eines der Partnerinstitute teilnahm; dabei wurde sie auch gleich mit der Durchführung der nächsten Veranstaltung im Jahr 2013 betraut. Mit dem «Korea Research Institute of Standards and Science» und der südkoreanischen INHA-Universität wurden Verträge unterzeichnet, die den Austausch von Studierenden und Forschenden vorsehen. Und mit dem US-amerikanischen «National Institute of Standards and Technology» (NIST) wurde die Zusammenarbeit im Rahmen der Methodenstandardisierung für toxikologische Tests für Nanomaterialien erweitert.



Und mit dem US-amerikanischen «National Institute of Standards and Technology» (NIST) wurde die Zusammenarbeit im Rahmen der Methodenstandardisierung für toxikologische Tests für Nanomaterialien erweitert.

Internationale Baufachtagung in Dubai «hosted by Empa»

Ein passender Ort für die erste internationale Konferenz über smarte Gebäudeüberwachung und -sanierung: Dubai, der Ort mit dem weltweit höchsten Gebäude, dem 162-stöckigen Burj Khalifa. Der 828 Meter hohe Turm, der extremen Winden ausgesetzt ist, muss permanent überwacht werden. Rund 300 Teilnehmende aus aller Welt informierten sich auf Einladung der Empa und der «American University in Dubai» (AUD) über die neuesten Trends, etwa bei drahtlosen Sensornetzwerken zum Monitoring von Bauten oder bei deren nachträglicher Verstärkung mit kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen. Und am Rande beschlossen die Empa und die AUD, ihre Forschungszusammenarbeit deutlich auszubauen.

Im Baubereich hat sich die Empa in den vergangenen zwei Jahren auch bei der RILEM (Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages), einer internationalen Vereinigung von Forschenden und ExpertInnen aus Akademie und Wirtschaft auf dem Gebiet der Baumaterialien und Strukturen, stark engagiert und vernetzt; seit 2009 ist Empa-Direktionsmitglied Peter Richner RILEM-Präsident.



istockphoto

Den globalen «talent pool» anzapfen

Im weltweiten Wettbewerb um die hellsten Köpfe hat die Empa unter anderem ein neues Postdoc-Programm lanciert. 22 talentierte Jungwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus aller Welt erhielten ein zweijähriges Stipendium, das als COFUND-Projekt im Rahmen des Marie-Curie-Programms von der EU mitfinanziert wird. Anfang 2013 wird die Empa dann nochmals 22 Stipendien vergeben.

Daneben hat das internationale Masterprogramm «MNT Micro- and Nanotechnology» im Ranking des österreichischen Wirtschaftsmagazins «Format» Platz 1 unter den technischen FH-Studiengängen belegt. Der Studiengang genießt also nach nur vier Durchführungen bereits einen hervorragenden Ruf. Mehr als 120 Personalchefs führender Unternehmen haben österreichische Universitäten und Fachhochschulen hinsichtlich der Arbeitsmarktbefähigung ihrer Absolventen bewertet. Wichtigste Kriterien waren dabei die Qualität der Dozierenden und die Internationalität der Studiengänge. Die Empa hat den zweijährigen berufsbegleitenden Studiengang mitbegründet, derzeit steht er unter der wissenschaftlichen Leitung von Empa-Direktor Gian-Luca Bona. Beteiligt sind zudem die FH Vorarlberg, die Interstaatliche Hochschule Buchs und die Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften.

Nano, Cleantech und Energie im Fokus



Nanotechnologie, Cleantech und Energie waren letztes Jahr auch aus kommunikativer Sicht begehrte Themen. Auf allen drei Gebieten betreibt die Empa wichtige Forschungsschwerpunkte; sie brachte sich damit auch aktiv in den öffentlichen Dialog ein. Mitte Mai nahmen mehr als 250 Interessierte an der 1. Swiss NanoConvention teil, die die Empa federführend mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) und der ETH Zürich organisiert hatte. Führungspersonlichkeiten aus Forschung und Industrie, Unternehmer, Investoren und Vertreter aus Verwaltung und Politik diskutierten Ideen und Chancen, aber auch eventuelle Risiken. Redner waren etwa der Nobelpreisträger Heinrich Rohrer, einer der Gründerväter der Nanotechnologie, der IBM-Forschungschef John Kelly und der Staatssekretär für Bildung und Forschung Mauro Dell'Ambrogio. Die Swiss NanoConvention wird künftig alljährlich in verschiedenen Regionen der Schweiz gastieren und abwechselnd von den Hauptakteuren der Schweizer Nano-Szene organisiert, so etwa 2012 von der EPF Lausanne und dem «Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique» (CSEM) in Lausanne.



Mehr als 400 Gäste aus 40 Ländern nahmen am «2. World Resources Forum» teil, das die Empa erneut in Davos ausrichtete.

Live-Blogs vom «World Resources Forum»

Diskussionen und gesellschaftliche Impulse standen auch am «2. World Resources Forum» (WRF) im Zentrum, das die Empa erneut in Davos ausrichtete. Mehr als 400 Teilnehmende aus 40 Ländern – unter ihnen etwa der EU-Kommissar für Umwelt, Janez Potočnik – tauschten sich zum globalen Ressourcenverbrauch aus und darüber, wie sich dieser verringern lässt. Das Besondere: StudentInnen-Reporter und -Blogger berichteten live und online vom WRF. Das nächste WRF zieht nach Asien: Es wird im Oktober 2012 erstmals in Peking stattfinden.



Die Empa war zudem Mitherausgeberin des «Swiss Cleantech Report 2011», einer aktuellen Bestandsaufnahme des Schweizer Cleantech-Bereichs. Fazit: Umweltfreundliche Technologien spielen für den Wirtschafts- und Forschungsstandort Schweiz eine immer wichtigere Rolle. Projektpartner waren weitere Forschungs- und Technologieinstitutionen. Bei Cleantech geht es nicht nur, aber auch um Energieeffizienz und das Erschliessen nachhaltiger Energiequellen.

So drehten sich letztes Jahr unter anderem die öffentlichen Wissenschafts-Apéros an der Empa-Akademie etwa um Fragen wie: Welches Potenzial hat die Photovoltaik hier in der Schweiz, und welches sind die zukunftsträchtigen Technologien? Oder: Sind Elektroautos die Lösung für alle Mobilitätsfragen der Zukunft? Um die Theorie der Elektromobilität mit der Praxis zu verbinden, standen auch gleich etliche E-Velos und -Scooter für Testfahrten bereit.



Die Empa als attraktives Besuchsziel

Letztes Jahr schauten zum ersten Mal mehr als 2000 Gäste auf rund 80 Führungen den ForscherInnen über die Schulter. Darunter Bundesinstitutionen wie das SBF und BBT, der SNF, das Fedpol und die Geschäftsleitung der SATW, die Suva, kantonale Behörden und die St. Galler CVP. Bundesrat Johann Schneider-Ammann lobte dabei die Empa als «das Herzstück im Wissens- und Technologietransfer-Netzwerk der Schweiz und einen Schlüssel zum Innovationserfolg».



Mit dem «grossen Rest» kommunizierte die Empa ebenfalls äusserst intensiv, so etwa über rund 3000 Artikel inklusive knapp 50 Fernsehbeiträge, die in nationalen und internationalen Medien über ihre Forschungsaktivitäten erschienen sind – insgesamt in immerhin 32 Sprachen – sowie über den letztes Jahr neu gestarteten elektronischen Newsletter, der sich derzeit an rund 3000 aktuelle und potenzielle Industriepartner richtet.

Organigramm 2012

Forschungsschwerpunkte

Nanostrukturierte Materialien
Dr. Pierangelo Gröning

Sustainable Built Environment
Dr. Peter Richner

Gesundheit und Leistungsfähigkeit
Prof. Dr. Harald Krug

Natürliche Ressourcen und Schadstoffe
Dr. Peter Hofer

Energietechnologien
Dr. Xaver Edelmann

Wissens- und Technologietransfer

Empa-Akademie
Dr. Anne Satir

glaTec – Technologiezentrum in Dübendorf
Mario Jenni

tebo – Technologiezentrum in St. Gallen
Peter Frischknecht

Netzwerk Zuverlässigkeitstechnik
Dr. Urs Sennhauser

International Research Cooperations
Prof. Dr. Gian-Luca Bona

LEITUNG

Direktor	Stv. Direktor	Mitglieder
Prof. Dr. Gian-Luca Bona	Dr. Peter Hofer	Dr. Pierangelo Gröning Dr. Peter Richner Prof. Dr. Harald Krug Dr. Xaver Edelmann Roland Knechtle

Medientechnik

Prof. Dr. Klaus Simon

DEPARTEMENTE

Moderne Materialien und Oberflächen	Bau- und Maschineningenieurwesen	Materials meet Life	Mobilität, Energie und Umwelt	Support
Dr. Pierangelo Gröning	Dr. Peter Richner	Prof. Dr. Harald Krug	Dr. Peter Hofer	Roland Knechtle
Zentrum für Elektronenmikroskopie Dr. Rolf Erni				Bibliothek (Lib4RI) Dr. Lothar Nunnenmacher
ABTEILUNGEN				
Hochleistungskeramik Prof. Dr. Thomas Graule	Mechanical Systems Engineering Dr. Giovanni Terrasi	Schutz und Physiologie Dr. René Rossi	Verbrennungsmotoren Christian Bach	Marketing, Wissens- und Technologietransfer Gabriele Dobenecker
Funktionspolymere Prof. Dr. Frank Nüesch	Mechanics for Modelling and Simulation Prof. Dr. Edoardo Mazza	Advanced Fibers Prof. Dr. Manfred Heuberger	Luftfremdstoffe /Umwelttechnik Dr. Brigitte Buchmann	Kommunikation Dr. Michael Hagmann
Dünnschichten und Photovoltaik Prof. Dr. Ayodhya N. Tiwari	Ingenieur-Strukturen Prof. Dr. Masoud Motavalli	Materials-Biology Interactions Dr. Katharina Maniura / Dr. Peter Wick	Analytische Chemie Dr. Heinz Vonmont	Personal André Schmid
nanotech@surfaces Prof. Dr. Roman Fasel	Angewandte Holzforschung Dr. Tanja Zimmermann	Biomaterials Prof. Dr. Dr. h.c. Linda Thöny-Meyer	Festkörperchemie und -katalyse Prof. Dr. Anke Weidenkaff	Informatik Dr. Christoph Bucher
Nanoscale Materials Science Prof. Dr. Hans Josef Hug	Bautechnologien Prof. Dr. Jan Carmeliet	Elektronik/Messtechnik/Zuverlässigkeit Dr. Urs Sennhauser	Wasserstoff und Energie Prof. Dr. Andreas Züttel	Finanzen/Controlling/Einkauf Heidi Leutwyler
Werkstoff- und Nanomechanik Dr. Johann Michler	Beton /Bauchemie Prof. Dr. Pietro Lura		Technologie und Gesellschaft Heinz Böni a.i.	Konstruktion/Werkstatt Stefan Hösli
Advanced Materials Processing Prof. Dr. Patrik Hoffmann	Strassenbau/Abdichtungen Prof. Dr. Manfred Partl			Logistik und Infrastruktur Paul-André Dupuis
Fügetechnologie und Korrosion Dr. Lars Jeurgens	Akustik/Lärmminderung Kurt Eggenschwiler			Bau 3 Forschungsinstitutionen Daniel Beerle
	Center for Synergetic Structures Dr. Rolf Luchsinger (PPP Empa – Festo)			



E-Mail portal@empa.ch
Tel. +41 58 765 44 44
www.empa.ch/portal

Die Empa in Form & Struktur

ETH-Rat

Der ETH-Rat leitet den ETH-Bereich mit den beiden Eidgenössischen Technischen Hochschulen und den vier Forschungsanstalten PSI, WSL, Eawag und Empa.

PRÄSIDENT

Fritz Schiesser Dr. iur., Haslen GL

VIZEPRÄSIDENT

Paul L. Herrling Prof. Dr., Novartis, Basel

MITGLIEDER

Patrick Aebischer Prof. Dr., EPF Lausanne

Ralph Eichler Prof. Dr., ETH Zürich

Beatrice Fasana Arnaboldi Dipl. Ing. ETH, BeFood Consulting, Balerna

Barbara Haering Dr. Dr. h.c., Econcept AG, Zürich

Beth Krasna Dipl. Ing. ETH, EPF Lausanne

Joël Mesot Prof. Dr., PSI, Villingen

Jasmin Staiblin Dipl. El.-Ing., Landeschefin ABB Schweiz, Baden

Markus Stauffacher Dr., ETH Zürich

Olivier Steimer lic. jur., Waadtländer Kantonalbank, Lausanne

Beratende Kommission

Die beratende Kommission ist ein Gremium führender Persönlichkeiten, das die Leitung der Empa bei grundlegenden Fragen berät.

PRÄSIDENT

Norman Blank Dr., Sika, Zürich

MITGLIEDER

Kurt Baltensperger Dr., ETH-Rat, Zürich

Crispino Bergamaschi Prof. Dr., FHNW, Brugg

Peter Chen Prof. Dr., ETH Zürich

Andreas Hafner Dr., BASF, Basel

Rita Hoffmann Dr., Ilford, Marly

Jan-Anders Manson Prof. Dr., EPF Lausanne

Markus Oldani Dr., ALSTOM, Baden

Andreas Schreiner Dr., Novartis, Basel

Eugen Voit Dr., Leica Geosystems, Heerbrugg

Rolf Wohlgemuth Dr., Siemens, Zug

Forschungskommissionen

Die Forschungskommission berät die Empa-Leitung in Forschungsfragen, bei der Wahl des F+E-Spektrums und bei der Evaluation von F+E-Projekten. Die nachfolgend genannten Persönlichkeiten des In- und Auslandes sind in ihr vertreten:

David Grainger Prof. Dr., University of Utah, USA

Bengt Kasemo Prof. Dr., Chalmers University of Technology, Schweden

Erkki Leppävuori Prof. Dr., VTT, Finnland

Jacques Marchand Prof. Dr., Laval University, Kanada

Claudia Stürmer Prof. Dr., Universität Konstanz, Deutschland

Eberhard Umbach Prof. Dr., KIT, Deutschland

Sukekatsu Ushioda Prof. Dr., NIMS, Japan

Alex Dommann Dr., CSEM, Zürich

Thomas Egli Prof. Dr., Eawag, Dübendorf

Karl Knop Dr., Zürich

Dimos Poulikakos Prof. Dr., ETH Zürich

Marcus Textor Prof. Dr., ETH Zürich

Alexander Wokaun Prof. Dr., PSI, Villigen

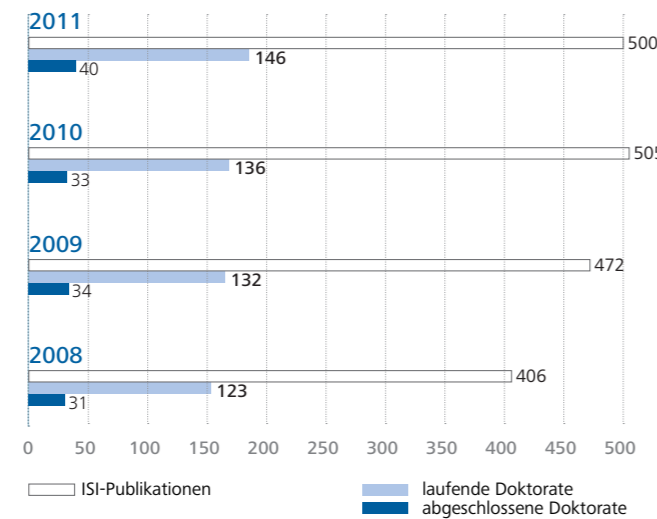
Zahlen & Fakten

Die positive Entwicklung der Empa spiegelt sich unter anderem in den massgeblichen Indikatoren. So stabilisierte sich etwa die Anzahl der ISI-Publikationen im Jahr 2011 mit 500 Beiträgen auf hohem Niveau. Das Lehrvolumen ist im Vergleich zum Vorjahr um rund 10 Prozent auf mehr als 3600 Stunden jährlich angestiegen. Die Zahl der Professuren erhöhte sich von 24 auf 27, die Anzahl der Doktorierenden von 136 auf 146. Auch der Wissens- und Technologietransfer (WTT) hat sich erfreulich entwickelt. Die Zahl der Patentanmeldungen stieg innert Jahresfrist beispielsweise von 8 auf 12. Zudem entstanden zwei neue Spin-offs. Der kontinuierliche Anstieg bei den Zweit- und Drittmitteln setzte sich ebenfalls fort; diese betragen 2011 insgesamt 51.7 Mio. CHF, 2.7 Mio. CHF mehr als im Vorjahr.

WISSENSCHAFTLICHER OUTPUT

	2010	2011
ISI-Publikationen	505	500
Konferenzbeiträge	1036	1094
Doktoratsabschlüsse	33	40
Lehrtätigkeit (in Stunden)	3269	3637
Preise/Auszeichnungen	30	27
Veranstaltungen Empa-Akademie	85	91
Teilnehmende	4300	5000
Wissenschaftliche Tagungen	12	11
Fach-Veranstaltungen für die Wirtschaft	23	38

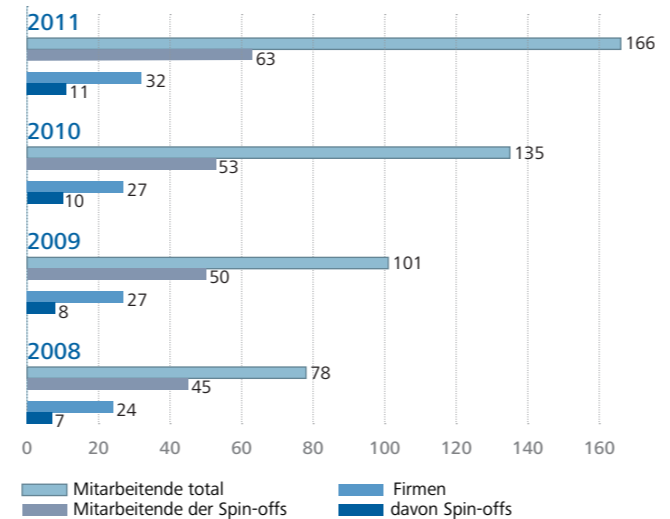
DOKTORATE & ISI-PUBLIKATIONEN



WISSENS- & TECHNOLOGIETRANSFER

	2010	2011
Neue Vertragsabschlüsse und -verhandlungen	340	434
Aktive Verwertungsverträge (Lizenz/Option/Verkauf)	59	67
Neue Verwertungsverträge	18	15
Neue Patentanmeldungen	8	12
Folgeanmeldungen	11	7
Laufende Projekte		
SNF	91	94
KTI	78	80
EU-Projekte (5/6/7 FP & div)	52	51

SPIN-OFFS & START-UPS (tebo & glaTec)



PERSONALBESTAND (PER 31. DEZEMBER 2011)

	2010	2011
Wissenschaftliches Personal	513	523
davon ProfessorInnen	24	27
davon Doktorierende	111	115
davon wissenschaft. Personal ohne Prof./Doktorierende	378	381
Technisches/administratives Personal	424	436
davon Lernende	39	41
Total	937	959

MEDIENPRÄSENZ

	2010	2011	Veränderung
Radio & TV	94	118	+26%
Print	893	1095	+23%
Online	827	1777	+115%
Total	1814	2990	+65%
Sprachen	15	33	+120%

ERFOLGSRECHNUNG (IN MIO. CHF)

	2010	2011
Ertrag		
Finanzierungsbeitrag Bund	96.9	96.9
Massnahmen «Frankenstärke»	–	2.5
Drittmittel	36.6	38.6
Dienstleistungserlöse	12.4	13.1
Übrige Erträge	0.5	5.0
Finanzerträge	–0.2	0.0
Total Ertrag	146.2	156.1
Aufwand		
Personalaufwand	100.6	103.1
Materialaufwand	5.2	5.6
übriger Sachaufwand	40.7	39.0
Veränderung Leistungsversprechen	–2.0	3.2
Zunahme Rückstellungen für Projekte	1.3	2.2
Total Aufwand laufende Aktivitäten	145.8	153.1
Gesamtergebnis	0.4	3.0
Investitionen		
Immobilien	7.5	2.9
Mobilien	6.4	10.1
Informatik	0.6	1.0
Total Investitionen	14.5	14.0

Anwendungsorientierte Forschung
Innovative Entwicklungen
Wissens- & Technologietransfer
Dienstleistungen & Expertisen
Aus- & Weiterbildung

Empa. Materialforschung und Technologie.



CH-8600 Dübendorf
Überlandstrasse 129
Telefon +41 58 765 11 11
Telefax +41 58 765 11 22

CH-9014 St. Gallen
Lerchenfeldstrasse 5
Telefon +41 58 765 74 74
Telefax +41 58 765 74 99

CH-3602 Thun
Feuerwerkerstrasse 39
Telefon +41 58 765 11 33
Telefax +41 33 228 44 90

www.empa.ch

